

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

И. И. ГОРНИЛОВ и В. С. МИХЕЕВ

**ТЕХНОЛОГИЯ НОВЫХ ЖАРОУПОРНЫХ И ВЫСОКООМНЫХ  
ХРОМО-АЛЮМИНИЕВЫХ СТАЛЕЙ. III**

*(Представлено академиком Н. С. Курнаковым 16 V 1939)*

Исследованием диаграммы состояния системы железо—хром—алюминий (см. предыдущую статью) были установлены составы сплавов, обладающих высоким удельным электросопротивлением и хорошей жаростойкостью.

Результаты указанной работы служили научным основанием для разработки технологии новых жароупорных и высокоомных хромо-алюминиевых сталей, обладающих более повышенными физико-химическими свойствами, чем существующие сплавы типа фехраль и хромаль.

Актуальность данной задачи тем более для нас казалась очевидной, что ныне производимые высокоомные сплавы типа фехраль и хромаль, благодаря значительному содержанию примесей углерода и кремния, вызывающих выше определенной концентрации появление в сплавах избыточных фаз, обладают невысокой жаростойкостью и плохой механической обрабатываемостью. Уменьшенное содержание алюминия (до 2—4%) в обоих сплавах еще больше понижает их относительную жаростойкость. Поэтому, несмотря на 5—6-летнее освоение этих сталей следует признать, что производство фехраля и хромаля в стране не налажено. Вместе с тем проблема замены остродефицитных нихрома, платины и других импортных материалов (силита), применяемых ныне в качестве элементов в электронагревательных печах лабораторного и заводского типов, настоятельно требует освоения производства новых сплавов из отечественных металлов, с более высокими физико-химическими свойствами, чем нихром, фехраль и хромаль.

Исходя из экспериментальных данных диаграммы состояния системы железо—хром—алюминий и новой технологической схемы производства хромо-алюминиевых сталей, нами было проведено на заводе Электросталь в высокочастотной печи емкостью 50 кг 25 опытных плавок новых жароупорных и высокоомных сталей и их обработка до получения готовой продукции в виде проволоки, ленты, полос и листов. Составы изготовленных сталей на основе оптимальных физико-химических свойств колеблются по хрому от 10 до 50% и по алюминию от 0 до 20%.

Основными вопросами в новой технологии хромо-алюминиевых сталей было значительное изменение химического состава получаемых сталей, уменьшение вредных примесей (углерода, кремния, серы и др.) и радикальное улучшение введения алюминия в сталь.

С этой целью нами был разработан алюминотермический способ получения безуглеродистых лигатур хром—алюминий и самих сплавов железо—хром—алюминий<sup>(1)</sup>. Указанный способ, являющийся одним из наиболее простых химико-металлургических процессов получения сплавов, дает возможность быстро и внепечным способом получать в требуемых количествах сплавы или лигатуры для производства новых высококачественных хромо-алюминиевых сталей.

Кроме получения лигатур и тройных сплавов железо—хром—алюминий внепечным способом нами были получены железо-хром-алюминиевые сплавы путем сочетания процесса плавки железа в тигле с процессом алюминотермического восстановления окиси хрома или концентрата хромистой руды с избытком алюминия.

Из всех приведенных выше методов изготовления новых высококачественных хромо-алюминиевых сталей мы остановились пока на методе изготовления лигатур хром—алюминий, как на наиболее доступном, простом способе. В дальнейшей работе будут испробованы и другие методы изготовления указанных сталей.

Предварительное получение на Зестафонском заводе безуглеродистых лигатур с различным содержанием алюминия (от 5 до 30%) позволило нам готовить любые составы хром-алюминиевых сталей с резко уменьшенным содержанием углерода, кремния и марганца в стали, а также радикальным образом улучшило введение алюминия в сталь.

При существующем способе плавки алюминиевых сталей алюминий вводится к концу плавки; при этом благодаря меньшему удельному весу алюминий плохо осваивается сталью, сильно окисляется, за счет чего увеличивается количество окислов алюминия в стали и не достигается равномерное распределение алюминия. Методом введения алюминия в виде лигатур хром—алюминий в процессе плавки достигается хорошее освоение хрома и алюминия с железом, резкое уменьшение утара алюминия (с 25—35% при существующем способе почти до 0% при новом методе), вытекающее из этого уменьшение включений окиси алюминия в сталь и обеспечивается более равномерное распределение алюминия по всей массе расплавленной стали.

В процессе плавки новых хромо-алюминиевых сталей нами был применен синтетический шлак, состоящий из трех основных окислов: CaO, MgO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Указанный шлак в известной пропорции составляющих компонент обладает низкой температурой плавления (1345°) и служит хорошим защитным покровом, предохраняющим поверхность металла от окисления. Применение такого основного низкоплавкого шлака, благодаря постоянному движению массы металла в тигле высокочастотной печи, создавало благоприятные условия для взаимодействия расплавленного шлака с неметаллическими включениями в расплаве и их постепенного удаления с металла за счет растворения в шлаке, так как в расплавленном металле они находятся в виде механических примесей, а в шлаке в виде раствора.

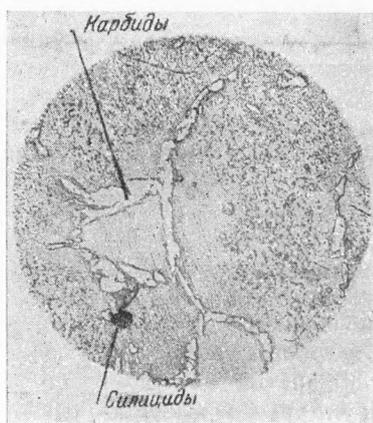
Проведение плавки по приведенному выше методу показало нам возможность получения высококачественных хромо-алюминиевых сталей, содержащих весьма незначительные примеси. В табл. 1 приводятся примерные составы новых жароупорных высокоомных сталей и сравнение их с составами технического фехрала и хромале.

Как видно из табл. 1, во всех составах изготовленных нами сталей содержание углерода по сравнению с содержанием его в хромале и фехрале уменьшено в 8—10 раз, кремния в 3—4 раза, марганца до 0.1% и содержание серы и фосфора до тысячных долей, вместо 0.02—0.03% в фехрале и хромале.

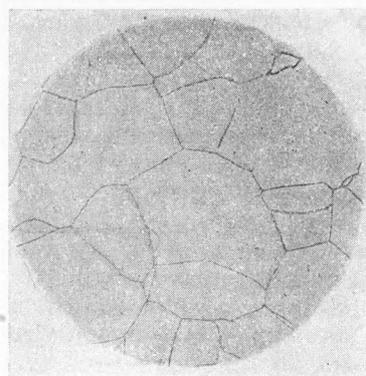
Таблица 1

Стали	Состав сталей в %					
	Fe	C	Si	Mn	S	P
Новые хромо-алюминиевые стали	85—86	0.03—0.04	0.20—0.30	0.1	0.003	0.008
	75	0.02—0.03	0.20—0.30	0.1	0.004	0.008
(Cr от 10 до 50% Al от 0 до 20%)	65—68	0.02—0.03	0.20—0.30	0.1	0.006	0.010
	55—58	0.02—0.03	0.20—0.30	0.1	0.006	0.009
Фехраль (Cr 12—14% Al 3—4%)	83—85	0.15—0.25	0.5 —1.5	0.5—1.0	0.02	0.03
Хромаль (Cr 27—30% Al 2.5—4%)	66—68	0.15—0.20	0.5 —1.2	0.5—0.8	0.02	0.03

Такие стали со значительно уменьшенным содержанием примесей, вызывающих появление избыточной фазы, естественно, дают вполне однородные твердые растворы или же незначительное выделение фазы в области существования интерметаллического соединения FeCr.



Фиг. 1



Фиг. 2

Подобное резкое различие в микроструктуре—грубая механическая смесь карбидов и силицидов с тройным твердым раствором для структуры технического хромалья (фиг. 1) и однородная полиэдрическая структура твердого раствора для большинства сталей (фиг. 2)—объяснило причину плохой обрабатываемости хромалья и предопределило хорошую обработку новых хромо-алюминиевых сталей даже с повышенным содержанием хрома и алюминия.

В процессе проведения опытных плавок нам удалось проковать стали с содержанием Cr от 10 до 50% и Al от 0 до 10%. Сплавы с содержанием алюминия выше 10%, хотя и являются однородными твердыми растворами, тем не менее не подвергаются ковке. Здесь, очевидно, играют роль те напряжения, которые возникают в решетке железа в результате одновременного растворения в твердом состоянии значительного количества хрома и алюминия, имеющих различные атомные радиусы. Кроме того здесь, несомненно, играет роль плохая теплопроводность сталей и сравнительно высокий коэффициент теплового расширения. Эти два фактора при

охлаждении и нагревании] слитков в цеховых условиях вызывают появление внутренних напряжений, в результате которых в сплаве возникают трещины, являющиеся основной причиной разрушения слитков при ковке.

Дальнейшая обработка кованных слитков показала, что железо-хром-алюминиевые сплавы с содержанием Cr до 45% и Al до 9—10% могут подвергаться прокатке в горячем состоянии на проволоку диаметрами 8 и 5 мм, ленты, полосы и листы, которые могут быть непосредственно использованы в качестве жароупорных и высокоомных материалов в технике.

Обработка указанных сталей в холодном состоянии, протяжка проволоки и прокатка полос и листов показала возможность получения проволоки любого сечения для сплавов с содержанием Al до (6—6.5%) т. е., значительно большим, чем при фехрале и хромале при переменном содержании хрома. Холодная прокатка лент и листов возможна для многих сплавов с содержанием Cr до 28—30%. Тот и другой вид холодной обработки (протяжка проволоки и прокатка лент) дает возможность получения калиброванных материалов для дальнейшего их применения в качестве электронагревательных элементов и других жароупорных материалов.

В обработке новых жароупорных высокоомных сталей является характерным то обстоятельство, что сплавы, относительно хрупкие при комнатной температуре, при нагревании до 200—400° приобретают пластичность и позволяют производить любой вид деформации. И с этой точки зрения указанные свойства могут быть использованы для получения в подогретом состоянии калиброванных материалов из хрупких сплавов, обладающих весьма высокой жаростойкостью и продолжительностью срока службы при высоких температурах.

В ы в о д ы. 1. На основе исследования диаграммы состояния железо—хром—алюминий разработаны новые рациональные составы жароупорных и высокоомных хромо-алюминиевых сталей.

2. Разработана новая технология для указанных сталей с применением безуглеродистой лигатуры и синтетического шлака.

3. Доказано, что однородные хромо-алюминиевые стали с весьма малым содержанием вредных примесей углерода, кремния и серы обладают значительно лучшей механической обрабатываемостью, высоким удельным электросопротивлением и хромшей жаростойкостью.

4. На основе укрупненных плавов и обработки новых сталей установлены новые промышленные марки жароупорных и высокоомных сталей.

5. Указанные новые марки промышленных сплавов могут являться заменителями хромала, фехрала, нихрома и платины в качестве электронагревательных материалов и могут быть применены в качестве жаростойких сталей.

Институт общей и неорганической химии  
Академии Наук СССР

Поступило  
23 V 1939

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> И. И. Корнилов и В. С. Михеев, ДАН, XX, № 9 (1938).