



УДК 669.187.2:621.365.22

СЕРТИФИКАЦИЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА

В. М. Сойфер

В статье освещен опыт сертификации дуговых сталеплавильных печей ведущих производителей; приведены наименования, типы и параметрические ряды печей. Изложены виды и методики сертификационных испытаний; описаны особенности изготовления и контроля водоохлаждаемых элементов; освещены вопросы оценки соответствия конструкций печей требованиям безопасности стандартов и вопросы анализа состояния производства. В статье приведены также результаты оценки прогрессивности новых технических решений по дуговым печам: шахтных печей, печей-ковшей, печей постоянного тока.

The article shows an experience in certification of arc steel melting furnaces of leading manufacturers and gives names, types and parametric ranges of some furnaces. Types and procedures of certification tests are presented, peculiarities of manufacture and control of water-cooled elements are outlined, problems of evaluation of conformity of furnace designs to the safety requirements of standards and problems of analysis of production state-of-the-art are described. The article shows also the results of evaluation of progress in new technical solutions on such arc furnaces as : shaft furnaces, furnaces-ladles, DC furnaces.

Ключевые слова: сертификация; дуговые печи; печи-ковши; стандарты; испытания; шахтные печи; безопасность; подовый электрод

Орган по сертификации продукции машиностроения «Стандартэлектро-Сертилит» накопил опыт сертификации дуговых сталеплавильных печей. В понятие «дуговые печи» в данном случае включены следующие виды оборудования: дуговые печи переменного тока; шахтные дуговые печи переменного тока; дуговые печи постоянного тока; шахтные дуговые печи постоянного тока; печи-ковши.

Нами сертифицированы дуговые сталеплавильные печи (табл. 1), выпускаемые следующими предприятиями: «ФАИ Фукс» (Германия), «ЭКТА» (Россия, г. Москва), «МТФ» (Россия, г. Набережные Челны), «ФуксМетмаш» (Россия, г. Череповец), «Даниэли» (Италия).

Для сравнения приведем данные параметрического ряда (в тоннах) дуговых печей, содержащиеся в ГОСТ 26654–85 «Оборудование электротермическое. Ряды параметров и размеров»: 0,004; 0,04; 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 6; 10; 12; 16; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 100; 125; 150; 200; 250.

Сертификация дуговых сталеплавильных печей производится на соответствие трем стандартам, в которых содержатся требования безопасности: ГОСТ 12.2.046.0–90 «Оборудование технологическое для литейного производства. Требования безопасности», ГОСТ 12.2.007.9–93 «Безопасность электротермического оборудования. Часть 1. Общие требования», ГОСТ 12.2.099–84 «Агрегаты для выплавки стали. Общие требования безопасности».

В процессе сертификации проводятся сертификационные испытания. Испытания дуговых сталеплавильных печей напряжением (испытание электрической прочности изоляции) ранее (до 2000 г.) проводились в соответствии с ГОСТ 27487–87 «Электрооборудование производственных машин. Общие технические требования и методы испытаний» между закороченными проводниками силовых цепей (а также цепями управления и сигнализации с напряжением более 50 В) и цепью защиты. При этом испытательное напряжение должно было быть не менее 1500 В в течение не менее 1 мин. Это требование было более жестким, чем требование европейских норм. С 2000 г. в России введен ГОСТ Р МЭК 60204–1–99 «Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования», полностью гармонизированный с европейскими нормами EN 60204. Согласно этому стандарту электрооборудование должно выдерживать испытательное напряжение, подаваемое между проводами всех цепей и защитными цепями, равное двойному значению номинального напряжения или напряжению 1000 В в течение не менее 1 с. С 2003 г. в России введен ГОСТ Р 51837–2001 (МЭК 60398–99) «Оборудование электротермическое. Общие методы испытаний», согласно которому при первом испытании новой дуговой печи испытательное напряжение, подаваемое в течение 1 мин, должно составлять:

табл. 1

Номинальное напряжение $U_n, В$	Испытательное напряжение $U_{исп}, В$
$U_n \leq 60$	500
$60 < U_n \leq 125$	1000
$125 < U_n \leq 250$	1500
$250 < U_n \leq 500$	1500; 2000
$U_n > 500$	$2U_n + 1000$



Таблица 1. Дуговые сталеплавильные печи

Изготовитель	Наименование и типы печей	Емкость, т	Изготовитель	Наименование и типы печей	Емкость, т	
Фирма «VAI FUCHS GmbH», г. Вильштафт-Легельшурст, Германия	Шахтные дуговые печи переменного тока	50; 55; 60; 65; 70; 75;	ООО «МТФ», г. Набережные Челны, Республика Татарстан	Электропечи плазменно-дуговые постоянного тока:		
		80; 85; 90; 95; 100;			ПДППТ-0,01	0,01
		105; 110; 115; 120;			ПДППТ-0,06	0,06
		125; 130; 135; 140;			ПДППТ-0,16	0,16
		145; 150; 155; 160;			ПДППТ-0,25	0,25
		170; 180; 190; 200		ПДППТ-М-3	3,0	
	Шахтные дуговые печи постоянного тока	50; 55; 60; 65; 70; 75;	ООО «ФуксМетмаш», г. Череповец, Вологодская область	Шахтные дуговые печи переменного тока	50; 55; 60; 65; 70; 75;	
		80; 85; 90; 95; 100;			80; 85; 90; 95; 100;	
		105; 110; 115; 120;			105; 110; 115; 120;	
		125; 130; 135; 140;			125; 130; 135; 140;	
	145; 150; 155; 160;			145; 150; 155; 160;		
	170; 180; 190; 200			170; 180; 190; 200		
Дуговые печи переменного тока	10; 15; 20; 25; 30;	Дуговые печи переменного тока	10; 15; 20; 25; 30;			
	35; 40; 45; 50; 55;		35; 40; 45; 50; 55;			
	60; 65; 70; 75; 80;		60; 65; 70; 75; 80;			
	85; 90; 95; 100; 105;		85; 90; 95; 100; 105;			
	110; 115; 120; 125;		110; 115; 120; 125;			
	130; 135; 140; 145;		130; 135; 140; 145;			
	150; 155; 160; 170;		150; 155; 160; 170;			
	180; 190; 200		180; 190; 200			
Дуговые печи постоянного тока	10; 15; 20; 25; 30;	Печи-ковши	5; 10; 15; 20; 25; 30;			
	35; 40; 45; 50; 55;		35; 40; 45; 50; 55;			
	60; 65; 70; 75; 80;		60; 65; 70; 75; 80;			
	85; 90; 95; 100; 105;		85; 90; 95; 100; 105;			
	110; 115; 120; 125;		110; 115; 120; 125;			
	130; 135; 140; 145;		130; 135; 140; 145;			
	150; 155; 160; 170;		150; 155; 160; 165;			
	180; 190; 200		170; 180; 190; 200;			
Печи-ковши	5; 10; 15; 20; 25; 30;	Фирма «Danieli & C. Officine Meccaniche S. p. A.», г. Буттрио, Италия	Печи-ковши	3; 5; 7; 10; 15; 20; 25;		
	35; 40; 45; 50; 55;			30; 35; 40; 45; 50; 55;		
	60; 65; 70; 75; 80;			60; 65; 70; 75; 80;		
	85; 90; 95; 100; 105;			85; 90; 95; 100; 105;		
	110; 115; 120; 125;			110; 115; 120; 125;		
	130; 135; 140; 145;			130; 135; 140; 145;		
	150; 155; 160; 165;			150; 155; 160; 165;		
	170; 180; 190; 200;			170; 180; 190; 200;		
	210; 220; 230; 240;			210; 220; 230; 240;		
	250; 260; 270; 280;			250; 260; 270; 280;		
	290; 300; 310; 320;			290; 300; 310; 320;		
	330; 340; 350; 360;			330; 340; 350; 360;		
	370; 380; 390; 400			370; 380; 390; 400		
ООО «Научно-техническая фирма «ЭКТА», г. Москва	Дуговые печи постоянного тока:		Фирма «Danieli & C. Officine Meccaniche S. p. A.», г. Буттрио, Италия	Печи-ковши		
		ДППТУ-0,1			0,10	3; 5; 7; 10; 15; 20; 25;
		ДППТУ-0,16			0,16	30; 35; 40; 45; 50; 55;
		ДППТУ-0,25			0,25	60; 65; 70; 75; 80;
		ДППТУ-0,5			0,50	85; 90; 95; 100; 105;
		ДППТУ-1,5			1,5	110; 115; 120; 125;
		ДППТУ-3			3,0	130; 135; 140; 145;
		ДППТУ-6			6,0	150; 155; 160; 165;
		ДППТУ-12			12,0	170; 180; 190; 200;
		ДППТУ-25			25	210; 220; 230; 240;
ДППТУ-50	50	250; 260; 270; 280;				
ДППТУ-100	100	290; 300; 310; 320;				
				330; 340; 350; 360;		
				370; 380; 390; 400		

Во время испытания не должно произойти перекрытия, пробоя или возгорания изоляции. Испытания напряжением сертифицированных дуговых печей на всех указанных предприятиях показали положитель-

ные результаты, что свидетельствует о высоком качестве применяемой ими электрической изоляции.

Проверка качества заземления может проводиться двумя путями. ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия



Таблица 2. Результаты сертификационных испытаний дуговых сталеплавильных печей

Наименование предприятия и испытываемого оборудования	Испытание напряжением (не должно быть пробоя)	Сопротивление изоляции, МОм (не менее 1 МОм)	Сопротивление заземления, Ом (не более 0,1 Ом)	Падение напряжения (В) в цепи защиты при токе 10 А	Степень защиты (IP) (не менее IP32)	Уровень шума, дБА (не более 80 дБА)	Однословной показатель виброускорения, дБ (не более 100 дБ)	Герметичность водоохлаждаемых узлов	Температура (°С) доступных к прикосновению наружных поверхностей (не более 45 °С)
ООО «МТФ», г. Набережные Челны Электропечь плазменно-дуговая постоянного тока типа ПДППТ-0,16 (0,16 т)	2000 В — 1 мин, пробы изоляции нет; 1000 В — 1 мин, пробы изоляции нет	Более 50	Менее 0,1	—	IP54	73	Менее 80	Течей нет	45
Фирма «VAI FUCHS GmbH», Германия									
Шахтная дуговая печь переменного тока (120 т)	1500 В — 1 мин, пробы изоляции нет	Более 50	0,02	—	IP54	112	—	Течей нет	—
Шахтная дуговая печь постоянного тока (80 т)	1500 В — 1 мин, пробы изоляции нет	Более 50	0,02	—	IP54	90	—	Течей нет	—
Дуговая печь переменного тока (60 т)	1000 В — 1 с, пробы изоляции нет	Более 50	0,02	—	IP54	112	—	Течей нет	—
Дуговая печь постоянного тока (80 т)	1500 В — 1 мин, пробы изоляции нет	Более 50	0,02	—	IP54	90	—	Течей нет	—
Печь-ковш (70 т)	1000 В — 1 с, пробы изоляции нет	Более 50	0,02	—	IP54	89	—	Течей нет	—
ООО «НТФ «ЭКТА», г. Москва									
Дуговые печи постоянного тока типов ДППТУ-6 (6 т)	1500 В — 1 с, пробы изоляции нет	Более 3000	—	0,8 (при норме не более 1 В)	IP54	86	Менее 80	Течей нет	25...31
ДППТУ-3 (3 т)	1000 В — 1 мин, пробы изоляции нет	Более 60	0,079	1,1 (при норме не более 1,4 В)	IP32	78	59	Течей нет	Наружные поверхности ограждены
ООО «ФуксМетмаш», г. Череповец									
Шахтная дуговая печь переменного тока (120 т)	1500 В — 1 с, пробы изоляции нет	Более 1000	—	0,9 (при норме не более 1 В)	IP54	110	—	Течей нет	45
Дуговая печь переменного тока (110 т)	1500 В — 1 с, пробы изоляции нет	Более 1000	—	0,9 (при норме не более 1 В)	IP54	110	—	Течей нет	45
Печь-ковш (120 т)	1500 В — 1 с, пробы изоляции нет	Более 1000	—	0,8 (при норме не более 1 В)	IP54	89	—	Течей нет	45
Фирма «Danieli & C. Officine Meccaniche S.p.A», Италия									
Печь-ковш (100 т)	2000 В — 1 мин, пробы изоляции нет	140	—	—	IP54	58	Ниже 100	Течей нет	38

электротехнические. Общие требования безопасности» (на который имеется ссылка в ГОСТ 12.2.007.9–93) предлагает проверять значение сопротивления между заземляющим болтом (винтом, шпилькой) и каж-

дой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью изделия (кожухи, электрошкафы, стойки, панели и т. д.), которые могут оказаться под напряжением. Это сопротивление заземления



не должно превышать 0,1 Ом. Другим способом проверки заземления является проверка непрерывности цепи защиты (ГОСТ Р МЭК 60204-1-99). В этом случае измеряется напряжение между зажимом провода защиты оборудования и контрольными точками. Значения напряжения не должны превышать указанных:

Минимальное эффективное поперечное сечение провода защиты контролируемой цепи, мм ²	Максимальное установленное падение напряжения (при испытательном токе 10 А), В
1,0	3,3
1,5	2,6
2,5	1,9
4,0	1,4
> 6,0	1,0

Во всех случаях выявилось качественное выполнение заземления. Сопротивление изоляции дуговых печей, измеренное при 500 В постоянного тока между проводами силовой цепи и цепи защиты, также во всех случаях соответствовало требованиям (более 1 МОм).

Важнейшим показателем безопасности дуговых сталеплавильных печей является уровень шума (эквивалентный уровень звуковой мощности). Показатели уровня шума установлены ГОСТ 27409-97 «Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования. Основные положения». В соответствии с этим стандартом основной показатель уровня шума оборудования — уровень звуковой мощности, являющийся его собственной шумовой характеристикой (дБ), не зависящей от расстояния от оборудования и окружающих его условий, или скорректированный уровень звуковой мощности, учитывающий частотную коррекцию А шумомера (дБА). В то же время для определения уровня шума на рабочих местах или в других характерных точках используют показатели уровня звукового давления (дБ) — уровня шума в характерных точках вблизи оборудования или уровень звука (дБА), учитывающий частотную коррекцию А шумомера.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» шум подразделяют на постоянный, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБА, и непостоянный, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день изменяется более чем на 5 дБА. Постоянный шум оценивают уровнем звука в дБА, а непостоянный — эквивалентным (по энергии) уровнем звука в дБА, который представляет собой уровень звука постоянного шума, имеющего то же самое среднее квадратичное звуковое давление в течение определенного интервала времени. Дуговые сталеплавильные печи имеют непостоянный уровень шума и поэтому характеризуются эквивалентным уровнем звука в дБА, который согласно ГОСТ 12.1.003-83 на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий должен быть не более 80 дБА. Следует отметить, что сог-

ласно европейским нормам этот показатель может достигать 85 дБА.

Дуговые печи постоянного тока с точки зрения уровня шума имеют неоспоримое преимущество перед печами переменного тока в связи с наличием одного электрода вместо трех и более стабильной дугой. По нашим замерам среднее значение уровня шума на пяти печах постоянного тока составляло 83 дБА, а на четырех печах переменного тока — 111 дБА. Это свидетельствует о том, что внедрение печей постоянного тока является крупным шагом в направлении улучшения условий труда сталеваров.

Во всех проведенных замерах в пределах установленных норм оказались показатели вибрации, герметичности (под давлением в 1,5 раза выше рабочего) и температуры наружных поверхностей печей, доступных к прикосновению. Примеры результатов испытаний приведены в табл. 2.

В связи с тем, что современная дуговая печь содержит большое количество водоохлаждаемых элементов, качество сварки и герметичность этих узлов являются очень важными показателями надежности работы печей в эксплуатации. Примером в этом отношении может служить изготовление водоохлаждаемых элементов на предприятии «ФуксМетмаш», г. Череповец. Здесь уделяется большое внимание качеству поступающего металла. Каждая партия стального проката поступает с сертификатом качества, содержащим данные о химическом составе металла и механических свойствах. Независимо от этого, образцы каждой партии металла подвергаются химическому анализу и механическим испытаниям, лаборатория подтверждает соответствующую марку стали; в отдельных случаях проверяется микроструктура. Лаборатория обеспечивает 100 %-ный контроль поступающих металлов.

Водоохлаждаемые трубные сварные изделия трижды подвергаются испытаниям с целью проверки герметичности: вначале с помощью сжатого воздуха проверяется герметичность сегментов, затем проводятся гидроиспытания сваренных изделий в целом (например, при 12 атм в течение 15 мин) и в третий раз в присутствии представителя заказчика.

Готовая продукция сопровождается проверочным листом, в котором указываются давление воды и продолжительность гидроиспытаний, результаты проверки сварных швов (рентгеноскопия, ультразвуковой и магнитный контроль), подтверждается проведение термообработки; документ подписывается ответственным лицом. К проверочному листу прикладываются сведения о сварщиках, копии их удостоверений, копия сертификата качества на металл, копия акта проверки сварочных электродов и присадочных материалов, копии протоколов входного контроля (химический анализ металла) и гидроиспытаний.

Тщательный контроль качества поступающего металла, качества сварных швов (100 %-ный контроль сварных швов ультразвуком или рентгеном производится на сборочном участке) и герметичнос-

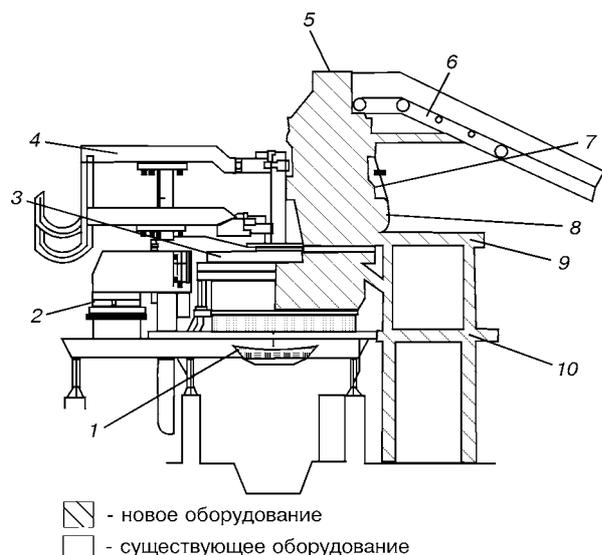


Рис. 1. Схема шахтной дуговой печи с удерживающими пальцами: 1 — люлька; 2 — портал; 3 — свод; 4 — токопроводящие консоли; 5 — колпак отходящих газов; 6 — конвейер подачи скрапа; 7 — шахта/пальцы; 8 — механизм подъема/перемещения; 9 — стальная конструкция; 10 — площадка

ти водоохлаждаемых узлов производится также на фирме «ФАИ Фокус».

Наряду с испытаниями, связанными с измерениями, в процессе сертификации дуговых сталеплавильных печей проводится оценка (визуально и на основе анализа конструкторской документации) соответствия конструкции печей требованиям безопасности, предъявляемым соответствующими стандартами. При этом обращается внимание на оборудование укрытий зон газовыделения, присоединенных к вытяжной вентиляционной системе с устройством для очистки отходящих газов; наличие пульта управления в отдельном помещении и световых табло, информирующих о ходе технологического процесса; обеспечение эксплуатационной документацией, в том числе по технике безопасности; наличие световой сигнализации, контроля режима охлаждения заземляющих устройств; указание в технической документации допустимого предела тока утечки; наличие запасных систем водоохлаждения; наличие автоматических выключателей, плавких предохранителей и необходимых блокировок; обеспечение недоступности частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения; наличие противопожарной защиты и др.

На указанных предприятиях проводилась сертификация серийного выпуска дуговых печей, в процессе которой анализировалось состояние производства с целью определить условия, обеспечивающие стабильное получение характеристик, требуемых для сертифицированного оборудования. При этом оценивались наличие, состав и техническое обслуживание средств производства, уровень технологии производства и контроля качества продукции, в том числе входного контроля комплектующих и материалов. Наибольшее внимание уделялось особо ответственным технологическим процес-

сам — сварке и контролю герметичности водоохлаждаемых узлов.

При сертификации проводилась оценка прогрессивности новых технических решений по дуговым печам. Одним из таких решений является создание фирмой «ФАИ Фукс» шахтных дуговых сталеплавильных печей, в которых осуществляется утилизация отходящих газов во время плавки, подогрев лома до температуры 800 °С перед загрузкой его в печь, удержание и подача шихты из шахты с помощью так называемых удерживающих пальцев. Эта конструкция печи позволяет значительно сократить расход электроэнергии и продолжительность плавки. Схема шахтной печи показана на рис. 1.

Объем шахты таков, что вся шихта, необходимая для плавки, загружается в печь перед началом плавки [1]. Подогрев шихты в шахте производится не только за счет тепла отходящих газов, но и за счет тепла, образующегося в результате протекания экзотермических химических реакций при дожигании. Шахта печи выполнена как самонесущая конструкция и полностью оснащена водоохлаждающими элементами. Фирмой «ФАИ Фукс» разработаны одношахтные и двухшахтные дуговые печи. В мире уже эксплуатируется 28 шахтных печей, поставленных фирмой «ФАИ Фукс», в том числе на таких заводах как «Хильза», Монтерро, Мексика; «Коккериль-Самбре», Чарлерой, Бельгия; «SWG», Герлафинген, Швейцария; «Бирмингем Сталь», Мемфис, США; «Гуангджоу Дзуджян Сталь», Гуангджоу, Китай; «Северсталь», Череповец, Россия и другие. На заводе «Северсталь» шахтная печь была введена в эксплуатацию в июле 1999 г. и к настоящему времени выдала более 2 млн тонн стали [2]. В этой печи используются любые сочетания из лома, железа прямого восстановления, железа в брикетах горячего прессования и жидкого чугуна. В процессе эксплуатации на ОАО «Северсталь» шахтная печь была оборудована панелями из чистой меди; кроме того, система пальцев и конструкция шахты были усилены с учетом использования в шихте тяжеловесного лома. После выпуска предыдущей плавки предварительно нагретый лом сбрасывается с пальцев шахты в печь. Опыт эксплуатации шахтной печи на ОАО «Северсталь» показал, что расход электроэнергии снижен на 100 кВт·ч/т в основном за счет подогрева лома. Срок окупаемости шахтной печи составил менее одного года. Продолжительность плавки сократилась со 100 до 55 мин. Кроме того, применение шахтной печи позволяет снизить расход электродов, на 20 % сокращаются выбросы пыли и газа в атмосферу. Опыт эксплуатации шахтной дуговой печи, поставленной фирмой «ФАИ Фукс», на заводе «Чинг-Чаган Шин Фай Стил Лтд» в Китае показал также, что эта печь обеспечивает точное автоматическое управление температурным режимом и химическим составом металла [3]. Проведенное нами в порядке инспекционного контроля за сертификационной продукцией двухсуточное наблюдение за работой шахтной

печи на ОАО «Северсталь» показало ее безотказную работу при отсутствии обслуживающего персонала на рабочей площадке с полным дистанционным компьютерным управлением с пульта.

Следует отметить и другие технические решения фирмы «ФАИ Фукс» по дуговым печам: система донного выпуска металла, полное оснащение печи водоохлаждаемыми элементами, применение газокислородных горелок, токопроводящие консоли электродов, применение водоохлаждаемой кислородной фурмы и др.

Одним из крупных достижений фирмы «ФАИ Фукс» является производство печей-ковшей, в которые переносятся конечные операции из электросталеплавильных агрегатов — конечное раскисление (например, алюминиевой или кальциевой проволокой), десульфурация (путем присадки шлакообразующих или вдувания кальциевого порошка), микролегирование, продувка инертными газами и т. д. Важнейшей функцией печей-ковшей является их «буферная», промежуточная функция между плавильными печами и машинами непрерывного литья заготовок; в печах-ковшах обеспечивается точное поддержание температуры стали для непрерывной разливки. В последние годы положительно зарекомендовали себя металлургические комплексы: электропечь — печь-ковш — МНЛЗ. Фирма «ФАИ Фукс» в последние годы поставила в Россию и СНГ сертифицированные нами печи-ковши на многие металлургические заводы: Молдавский, Волгоградский, Оскольский, Челябинский, Магнитогорский, Белорецкий, Череповецкий, Московский «Серп и молот», Санкт-Петербургский «Петросталь», а также на машиностроительные заводы Мотовилихинский, Орский и Уралмаш.

Важнейшей задачей при сертификации дуговых печей было определение безопасности и перспективы применения печей постоянного тока. Серьезным фактором безопасности печей постоянного тока является конструкция подового электрода, которая может быть связана с уходом жидкого металла в подину печи. С этой точки зрения нами изучены различные конструкции подовых электродов. В настоящее время в Европе существуют такие варианты конструкций подовых электродов, как магнетитографитовые электропроводные электроды, имеющие электрический контакт с металлом; воздухо- и водоохлаждаемые стальные электроды (множество стальных штырей, пластин или большие стальные цилиндры); так называемые ребристые аноды, состоящие из большого количества вертикально приваренных к горизонтальному днищу печи и расположенных в виде ячейки пчелиных сот тонких стальных плиточек (ребер), пространство между которыми заполняется и уплотняется монокристаллической магнетитовой массой, днище не охлаждается. Однако по имеющейся информации все эти варианты не получили широкого распространения из-за случаев аварийного ухода металла в подину. На ряде

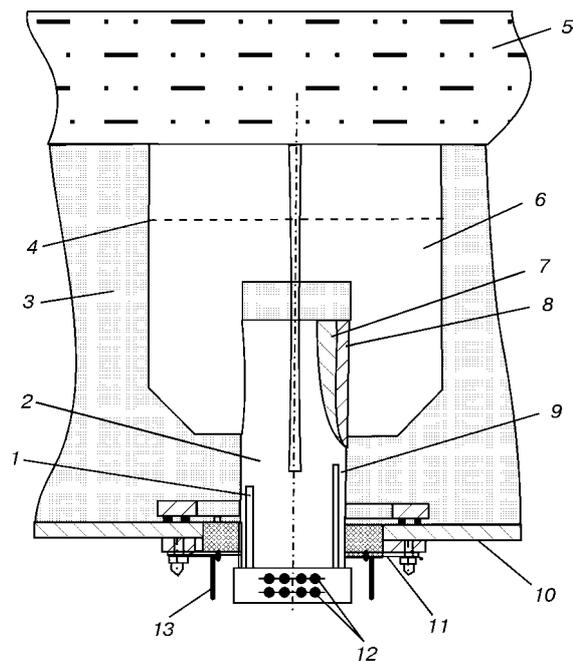


Рис. 2. Схема подового электрода: 1 — датчик температуры; 2 — подовый электрод; 3 — подина; 4 — линия резки листов при замене подины; 5 — расплав; 6 — стальные листы; 7 — медь; 8 — сталь; 9 — датчик температуры; 10 — днище печи; 11 — изолятор; 12 — каналы водоохлаждения; 13 — прибор для контроля изоляции

фирм по этой причине охладели к печам постоянного тока, несмотря на ряд их преимуществ. В последние годы в России применяется совершенно новая конструкция подовых электродов (фирмы «ЭКТА» и «МТФ»). Подовый электрод состоит из базы, представляющей собой стальную трубу, заполненную медью способом электрошлакового литья. К наружной стенке трубы приварены стальные листы, проходящие через подину и являющиеся сменной частью электрода. Водяное охлаждение электрода расположено вне кожуха печи. С помощью управляемого компьютерной программой преобразователя система подачи тока в печь обеспечивает такие вихревые потоки металла, которые не размывают подовый электрод. В России на ряде предприятий от 2 до 13 лет безаварийно работают печи постоянного тока с подовым электродом (рис. 2) описанной конструкции. Надежная конструкция подового электрода послужила решающим фактором распространения в России (в основном в литейных цехах) печей постоянного тока. В настоящее время печи постоянного тока успешно работают на заводах «Реалит», «МТФ» и «КАМАЗ» (г. Набережные Челны), Уралмаш (г. Екатеринбург), Балезинский литейно-механический завод (г. Балезино), «Курганмашзавод» (г. Курган), «Цветмет» (г. Казань), «Автоспецоборудование» (г. Чистополь), «Рудгормаш» (г. Воронеж), «Мотордеталь» (г. Кострома), «Ижсталь» (г. Ижевск); идет ввод в эксплуатацию печей постоянного тока и на ряде других предприятий России [4]. За рубежом работают печи постоянного тока емкостью до 200 т [5].



Анализ эксплуатации печей постоянного тока на предприятиях России показал ряд преимуществ печей постоянного тока: снижение расхода электродов в 2–4 раза (на Курганском машиностроительном заводе до 1,4 кг/т); стабильность горения дуги, длительность периода плавления в 5-тонной печи сокращается на 15...20 мин; лучшее перемешивание металла; меньший угар легирующих; сокращение газопылевых выбросов по сравнению с печами переменного тока в 2,65 раза; повышение стойкости футеровки стен; снижение, как отмечено выше, уровня шума; экономия электроэнергии (23 %). Эти выводы подтверждает ряд авторов [6–9].

В последнее время дуговые печи постоянного тока применяются также для плавки чугунной стружки [10], тяжелых цветных металлов [11] и карбида кальция [12].

Выводы

1. Сертификация дуговых сталеплавильных печей на предприятиях «ФАИ Фукс» (Германия), «ЭКТА», «МТФ», «ФуксМетмаш» (все — Россия), «Даниэли» (Италия) показала положительные результаты.

2. Отработана методика сертификации дуговых сталеплавильных печей.

3. Крупными техническими достижениями являются разработка и поставка фирмой «ФАИ Фукс» шахтных дуговых сталеплавильных печей и печей-ковшей.

4. Разработка и применение предприятиями «ЭКТА» и «МТФ» новой медно-стальной конструкции подового электрода в сочетании с управлением через преобразователь вихревыми потоками жидкого металла обеспечивает надежную работу дуговых печей постоянного тока.

5. Дуговые печи постоянного тока имеют широкую перспективу применения.

1. *Современные* высокоэффективные печи для оснащения электросталеплавильных цехов / Г. Фукс, Х. Кнапп, К. Гёлер, Б. Пельц. — Фукс-Системтехник, 1998. — 15 с.
2. *Фукс Г., Нархольц Т., Гёлер К.* Первый опыт эксплуатации шахтной печи «Фукс» с удерживающими пальцами в ОАО «Северсталь» // *Электрометаллургия*. — 2001. — №11. — С. 11–15.
3. *Работа* электродуговой печи с шахтным подогревателем на компактном мини-заводе в Китае / Р. Чен, Ю. Лну, Г. Фукс, Т. П. Нгай // *Stell Times International*, ноябрь 1998.
4. *Стомахин А. Я.* О работе VII конгресса сталеплавильщиков // *Электрометаллургия*. — 2003. — № 2. — С. 36–37.
5. *Смоляренко В. Д.* Нарастающий успех электрометаллургии в производстве стали // Там же. — № 8. — С. 46–47.
6. *Миляев А. Ф., Кадников С. В.* Выбор типа и емкости агрегатов для выплавки чугуна и стали в литейных цехах // Там же. — 2002. — № 11. — С. 26–34.
7. *Первый* этап освоения дуговой сталеплавильной печи постоянного тока в ОАО «Курганмашзавод» / А. В. Афонаскин, И. Д. Андреев, Н. С. Власов и др. // Там же. — № 4. — С. 16–19.
8. *Еще раз* о работе дуговых печей постоянного тока на СЧЛЗ ОАО «Курганмашзавод» / А. В. Афонаскин, И. Д. Андреев, В. С. Малиновский, Д. В. Князев // *Литейное производство*. — 2002. — № 7. — С. 29–30.
9. *Окороков Г. Н., Крутянский М. М.* Некоторые особенности дуговых печей постоянного и переменного тока как металлургических агрегатов // *Электрометаллургия*. — 2003. — № 6. — С. 15–18.
10. *Агрегат* дуговых печей постоянного тока для плавки чугунной стружки / Н. С. Овсов, В. С. Малиновский, Д. А. Мирионков, Л. В. Ярных // *Литейное производство*. — 2003. — № 4. — С. 23–25.
11. *Тарасов А. В., Парецкий В. М.* Современный взгляд на роль электроплавки в производстве тяжелых цветных металлов // *Электрометаллургия*. — 2003. — № 5. — С. 12–23.
12. *Земляков В. И., Пономарев С. В., Фарнасов Г. А.* Дуговая печь постоянного тока для выплавки карбида кальция // Там же. — 2002. — № 7. — С. 6–8.

АНО «НТЦ «Стандартэлектро-С», Москва

Поступила 10.11.2003