

ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Под редакцией
Я. И. ШКЛЕННИКА и В. А. ОЗЕРОВА

ИЗДАНИЕ 2-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Москва 1971



インベストメント鑄造法

第2改訂増補版

監修 ヤ・イ・シュクレソニク

ヴェ・ア・オゼロフ

《機械製作》出版所. モスクワ1971

本書では、インベストメント鑄造に関する基本問題がすべて解明される。鑄物の品質特性とその設計法、模型と型の製作工程及びその製作用材料について詳しく説明され、鑄造用合金の特性、合金の溶解、鑄込み、型ばらし、鑄物清浄、熱処理、鑄物検査にわたって詳細なデータが与えられる。またインベストメント鑄造の経済的問題及び生産形態についても十分な頁がさかれ、今後の発展の展望が明らかにされる。

第2改訂版では、すべての章にわたって最近の理論的及び経験的成果を増補し、新しく工程の機械化と自動化の章を設けた。

当書は、鑄物技術者と学術研究者を対象にしたが、この分野を専攻する学生諸君にとっても十分価値あるものと思われる。

目次	はじめに	1
	I 章 鑄造部品の設計	8
	鑄物の品質	8
	寸法精度	8
	表面粗さ	12
	鑄物金属の機械的性質	15
	鑄物の構造要素	19
	II 章 インベストメント鑄造用合金	32
	炭素鋼	32
	合金鋼	34
	特殊用途の鋼と合金	34
	非鉄合金	44
	III 章 湯道系の計算と設計	53
	鑄物品質と技術経済的生産指数に及ぼす湯道系の影響	53
	湯道系の構造方式	64
	湯道系の計算と設計	70
	標準化湯道系	86
	IV 章 模型製作用金型の設計と製作	91
	金型の設計	92
	機械加工で製作される金型	96
	垂直見切り面を持つ多数取り金型	103
	水平見切り面を持つ多数取り金型	104
	複雑な1個取り金型	106
	石膏型	108
	鑄造金型	109
	電鑄プラスチック及びメタライジング法で製作される金型	111
	プラスチック型	113
	弾性材料による型	115
	V 章 模型の製作	118
	模型材料と成分	118
	模型の製作	148
	模型の冷却と保存	165
	模型のブロック組立	168
	VI 章 鑄型の製作	175
	インベストメント鑄造用鑄型の特徴	175
	鑄型の分類	177
	鑄型シェルの製作用材料	178
	シェルの性質	188
	エチルシリケートシェル型	203
	エチルシリケートバインダー溶液の分類	207

	エチルシリケートの加水分解成分の配合量計算	212
	エチルシリケートシェル型の成形技術	218
	水ガラスシェル鑄型	236
	中子の製作	241
VII 章	金属の溶解と鑄込み	247
	装入材料	247
	母合金	250
	装入計算	252
	鑄物用金属の溶解	253
	鑄型の鑄込み	278
VIII 章	鑄物の型ばらし, 清浄及び熱処理	281
	鑄型の冷却と型ばらし	281
	鑄物からの湯道系の分離	281
	鑄物の清浄	287
	湯道跡の清浄	299
	銅鑄物の熱処理	300
IX 章	鑄物の品質検査	305
	検査法	306
	化学成分の検査	306
	肉眼検査	307
	鑄物の寸法検査	307
	鑄物の機械的性質の検査	311
	鑄物の組織検査	317
	鑄物亀裂検査	320
	鑄物のリークテスト	324
	鑄物不良品とその防止	325
	鑄物の欠陥補修	336
	検査組織	337
X 章	総合的機械化と自動化・インベストメント	340
	鑄造工場・工場レイアウト	
	総合的機械化と自動化	340
	機械化と自動化水準の決定	340
	総合機械化及び自動化例	342
	インベストメント鑄造工場	363
	工場レイアウトの基礎	363
	レイアウト例	380
XI 章	経済計算	388
	合理的製作法の選択	388
	製作工数	391
	材料消費量	393
	製作コスト	394

参考文献

装入材料

インベストメント鑄造の場合装入材料には、通常、鍛造工場や機械加工工場の金属屑（裁断屑、切削屑、ばり、不良品）、鑄造工場の返り材（湯口、欠陥鑄物、流し湯）ならびに専門の冶金工場から納入された地金、フェロアロイ、母合金及び各種の純金属が採用される。

以下、装入材料について主なデータを示す。

純金属 化学的に純粋な金属で、極めて限られた量しか工業的に生産されない。純金属の用途は、ほとんど実験研究に限定される。

純金属はまたとくに重要度の高い合金（耐熱合金やその他の特殊合金）の装入材料としても利用される。この種の金属は、混入物の含有量が厳密に規定され、その純度に応じて号種別に分類される。

フェロアロイ 多くの合金の溶製では、高価な純金属の採用が経済的に不合理になる。炭素や混入物の含有量が余り厳密に規定されない合金の精練に際しては、フェロアロイを採用することが望ましい。

鋼の精練では、主な合金元素の酸化ロスを削減し、鉄ベースへの合金元素の溶解を容易にするため、純金属よりもフェロアロイを採用する。表 69-77 には、鋼及び鉄を含む他の合金の精練に採用されるフェロアロイの化学成分を示す。

低炭素鋼 Y 0 3, Y 0 5 鋼及び《アームコ鉄》は、混入物の含有量が少なく、任意の号種の鋼の精練に採用できる。また Y 0 8 及び Y 1 5 鋼は、必要な装入調整を行なって中炭素鋼や高炭素鋼の精練に利用できる。

装入用の低炭素鋼の化学成分を表 78 に示した。

返り材、鍛造工場及び機械加工工場の金属屑 返り材には、押湯、湯口と他の湯道系要素、鑄物工場や機械加工工場での鑄物不良品、捨て湯などが該当する。

表 6 9 フェロシリコン (GOST1415-61)

品 種	化 学 成 分 % (以下)				
	Si	Mn	Cr	P	S
Сн 90	87-95	0.5	0.2	0.04	} 0.03
Сн 75	74-80	0.7	0.5	0.05	
Сн 45	40-47	0.8	0.5	0.05	
Сн 25	23-32	1.5	規定されず	0.06	} 0.04
Сн 18	17-22	2.0		0.10	

表 7 0 フェロマンガン (GOST4755-49)

フェロマンガンの分類	号 種	Mn (以上)	化 学 成 分, %			
			主要混入物 (以下)			
			C	Si	P	S
低炭素フェロマンガン	MH 0	8 0.0	0.5	2.0	0.3 0	0.0 3
中炭素フェロマンガン	MH 1	8 0.0	1.0	2.0	0.3 0	0.0 3
	MH 2		1.5	2.5		
高炭素フェロマンガン	MH 3	7 8.0	7.0	2.0	0.3 3	0.0 3
	MH 4	7 6.0		0.3 8		
	MH HK	7 8.0		1.0	0.3 3	

表 7 1 シリコカルシウム (GOST4762-49) とシリコマンガ (GOST 4756-49)

号 種		化 学 成 分 %							
		Ca	Ca+Si	Mn	Si	主 要 混 入 物			
						C	Al	S	P
		以 上				以 下			
シリコカルシウム	Каси0	31	90	—	—	—	1.5	0.04	0.05
	Каси1	28	90	—	—	—	2.5		
	Каси2	23	85	—	—	—	3.0		
シリコマンガ	Симн20	—	—	65	2.00	1.0	—	—	0.1
	Симн17	—	—	65	17.0-1.99	1.7	—		
	Симн14	—	—	65	14.0-16.9	2.5	—		

表 7 2 フェロクロム (GOST4757-67)

フェロクロムの分類	号 種	化 学 成 分 %								
		Cr	C	Si	S	P		N	Al ※	
						等 級	等 級			
		以 上	以 下				A	B	以 上	以 下
無炭素フェロクロム	ΦX001	—	0.01	0.8	0.02	—	—	—	—	—
	ΦX002	68.0	0.02	—	—	0.02	0.03	—	—	
	ΦX003	—	0.03	1.0	—	—	—	—	0.5	
	ΦX004	—	0.04	—	0.03	—	—	—	—	
	ΦX005	65.0	0.05	1.5	—	0.03	0.06	—	—	
低炭素フェロクロム	ΦX010	—	0.10	1.5	—	—	—	—	—	
	ΦX015	65.0	0.15	—	0.03	0.03	0.06	—	—	
	ΦX025	—	0.25	—	—	—	—	—	—	
	ΦX050	—	0.50	2.0	—	—	—	—	—	
中炭素フェロクロム	ΦX100	65.0	1.0	2.0	0.04	0.04	0.06	—	—	
	ΦX200	—	2.0	—	—	—	—	—	—	
高炭素フェロクロム	ΦX650	65.0	6.5	1.5	0.06	0.04	0.06	—	—	
	ΦX800	—	8.0	2.0	—	—	—	—	—	
窒化フェロクロム	ΦX100H	70.0	0.05	—	0.03	0.02	0.03	0.9	0.7	
	ΦX400H	65.0	0.06	1.0	—	—	—	4.0	—	
	ΦX600H	60.0	0.03	—	0.04	0.03	0.04	6.0	—	

※ アルミノテルミット法で製造した場合

表 7 3 フェロタングステン、フェロモリブデン及びモリブデンを含むフェロタングステン

フェロアロイ	号種	化 学 成 分 %														
		W	Mo	混 入 物												
				Mn	Cu	P	S	C	Si	As	Sn	Sb	Bi	Pb	W	Al
		以 上		以 下												
フェロタングステン (GOST4758-55)	B0	80	—	02	010	003	005	02	0.3	0.04	0050	0.04	0.04	0.04	—	—
	B1	70	—	02	015	004	008	02	0.4	0.05	0100	0.08	0.05	0.05	—	—
	B2	70	—	04	020	005	010	07	1.0	0.08	0150	—	—	—	—	—
	B3	65	—	05	030	010	020	08	1.5	0.08	0250	—	—	—	—	—
フェロモリブデン (GOST4759-69)	ΦM1	—	58	—	0.5	0.05	0.10	0.05	0.8	0.03	0.015	0.02	—	—	0.6	—
	ΦM2	—	55	—	1.5	0.10	0.15	0.10	1.5	0.05	0.050	0.05	—	—	1.0	—
	ΦM3	—	55	—	2.5	0.20	0.20	0.20	2.0	0.10	0.100	0.10	—	—	1.0	—
モリブデンを含むフェロタングステン (GOST5199-50)	B1a	75	—	0.3	0.25	0.04	0.04	0.20	1.0	0.05	0.100	—	—	—	—	1.0
	B2a	75	—	2-6	0.5	0.30	0.05	0.08	0.30	2.0	0.08	0.150	—	—	—	2.0
	B3a	55	—	0.5	0.30	0.06	0.08	0.50	1.3	0.08	0.150	—	—	—	—	1.0

表 7 4 フェロバナジウム (GOST 4760-49)

号 種	化 学 成 分 %						
	V 以 上	混 入 物					As
		C	Si	Al	P	S	
В д 1	3 5.0	0.7 5	2.0	1.0	0.1 0	0.1 0	0.0 5
В д 2			3.0	1.5	0.2 0		
В д 3		1.0 0	3.5	2.0	0.2 5	0.1 5	

表 7 5 フェロチタン (GOST 4761-67)

号 種	化 学 成 分 , %											
	Ti	混 入 物									Al/Ti	Si/Ti
		C	P	Si	Cu	Mo	Zr	V	Sn			
Т и 0	2 8-3 5	0.10	0.04	0.03	0.05	0.05	0.1	0.2	0.01	0.25	0.12	
Т и 1	2 8-3 5	0.15	0.04	0.04	2.0	0.4	0.2	0.4	0.04	0.25	0.16	
Т и 2	2 5-3 5	0.20	0.07	0.07	3.5	1.0	0.7	1.0	0.08	0.40	0.28	
Т и в	6 0以上	0.20	0.05	0.05	0.3	0.6	0.6	0.6	0.10	0.07	0.012	
Т и в 1		0.40	0.05	0.05	0.5	2.5	2.0	3.0	0.15	0.10	0.02	

表 7 6 フェロアルミニウム合金 (粉末) AMTU325-52

号 種	化 学 成 分 , %					
	Fe	Al (以上)	混入物 (以下)			その他の 総混入量
			Mn	Cu	Si	
ΦАП	42-50	43.0	1.0	4.0	3.0	1.0

表 7 7 フェロホスホル (CHMTU3074-52)

号 種	化 学 成 分 % (以上)			
	P	Mn	Si	S
Φ Φ	14	6.0	2.0	0.5

表 7 8 装入用低炭素鋼

号 種	技術規定	化 学 成 分 , %							
		Fe	混 入 物 (以 下)						
			C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu
Y03	CHMTU4806-54	ベース	0.03	0.03	0.20	0.03	0.03	0.40	0.25
Y05		"	0.05	0.40	0.30	0.03	0.03	0.40	0.25
Y08		"	0.10	0.40	0.30	0.03	0.03	0.40	0.25
Y15		"	0.20	0.40	0.30	0.03	0.03	0.40	0.25
ア-ムコ鉄	CHMTU3581-53	"	0.04	0.20	0.20	0.03	0.025	-	0.15

返り材は必要な処理 (清浄 , 切断) を施せば , 貴重な装入材料となる。

溶解に一種の返り材を利用すると , 繰返し再溶解で金属のガス含有量と酸化物による汚染度が上昇するため , 望ましくない。安定した作業を続けるため , 合格鋳物に対する装入バランスで金属消費量を調整して返り材を常に新しくする必要がある。この場合には , 装入材料の配合比が常に一定し , 返り材が完全に利用できるようになる。

鋳物工場では , 通常数種の鋳物用合金が精練されるため , 各種の返り材の混用を防ぐような措置をとらねばならない。

不良鋳物はその形状で簡単に区別できるが、湯道系の要素については、その混用を避けるため、合金の種類に応じて標示記号（金型によるマーキング等々）を付ける必要がある。

例えば、模型ブロックを組立てる際に、受湯口の模型に合金の号種を表示するような帯を設ける。

返り材は、号種別に専用のパレットに入れて装入材料の倉庫に保存する。機械加工工場や鍛造工場の金属屑も同様、選別して号種別に保存する。これらの材料は装入材料への新しい添加物として利用する。

金属屑が化学成分の点で技術規定から逸脱する場合は、装入計算で決めた量だけ再溶解する。

仮に化学成分の完全な検査が不可能な場合予め混合した金属屑を再溶解し、鋳塊をつくり、その後の利用が便利にする。

鋳塊の金属成分については、化学分析データに基づき判断する。

装入材料は、錆、スケール、オイル、砂ならびにシエルの残留屑などを除去したものでなければならない。

比較的融点の低い非鉄合金の精練では、難融性元素を含む2元及び3元の母合金が広く用いられる。この場合は、母材合金の過熱が防がれ、それに伴う大きい酸化ロスが避けられるようになる。

母合金は、難融性元素を可能な限り多量に含み、添加対象となる母材合金の融点に近い融点を持つ必要がある。例えば、融点650-700℃のアルミニウム合金に配合するアルミニウム・ニッケル母合金（80%Al + 20%Ni）は780℃の融点を持つ（この場合純ニッケルの融点は

表 7 9

種 類	号 種	融点, °C	化 学 成 分, %										
			Al	Fe	Si	Mg	Cu	Mn	Ni	Ti	P	B	
アルミニウム鉄母合金	AЖ10	830	90	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	AЖ20	1020	80	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
アルミニウムシリコン "	AK15	640	85	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—
	AK25	750	75	—	25	—	—	—	—	—	—	—	—
アルミニウムマグネシウム "	AMr10	600	90	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—
アルミニウム銅 "	AM33	548	67	—	—	—	33	—	—	—	—	—	—
	AM50	580	50	—	—	—	50	—	—	—	—	—	—
アルミニウムマンガン "	AMu10	780	90	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—
アルミニウムニッケル "	AN20	780	80	—	—	—	—	—	20	—	—	—	—
アルミニウムチタン "	AT4	900	96	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—
Al・Mn・Si "	AMu10K10	760	80	—	10	—	—	10	—	—	—	—	—
マグネシウムマンガン "	MgMu10	780	—	—	—	90	—	10	—	—	—	—	—
銅-マンガン "	MMu25	860	—	—	—	—	75	25	—	—	—	—	—
銅-鉄 "	MЖ8	1150	—	8	—	—	92	—	—	—	—	—	—
銅-ニッケル "	MН25	1100	—	—	—	—	75	—	25	—	—	—	—
銅-ホスホル "	MФ10	1000	—	—	—	—	90	—	—	—	10	—	—
ニッケルボロン "	НБ10	1450	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	10
鉄ボロン "	ЖБ10	1500	—	90	—	—	—	—	—	—	—	—	10

母合金

1445℃である)。

また添加時に活発な反応が生じ、摂取量が一定しないような合金元素を狭い範囲内で含有する合金の精練に際しても母合金が採用される。鋳物用金属の精練に最もよく用いられる合金の化学成分と融点を表79に示す。

母合金の溶製 すべての母合金は高周波誘導炉で溶製することが望ましい。

銅-マンガン母合金については、1200℃まで過熱した熔融銅に定量のマンガンを追加して溶製する。この場合、熔融銅の上に乾燥木炭あるいは加炭剤を投入する。

3元銅-マンガンアルミニウム母合金は、熔融銅-マンガン母合金にアルミニウムを追加して溶製する。この場合熔融合金は塩化亜鉛で精練する。

銅鉄母合金は、熔融銅を1150℃まで過熱し、そこに定量の鉄を装入して溶製する。熔融合金は、鉄と銅が完全に溶解するまで攪拌する。仮に3元母合金(例えば、 $Cu \cdot Fe \cdot Al$)の溶製が必要な場合は、熔融銅鉄合金に熔融アルミニウムを注入し、塩化亜鉛で精製する。

銅-ホスホル母合金は銅合金の脱酸に主として使用される。この母合金は専門の工場で製造される。

アルミニウム銅母合金は、2種の熔融金属から溶製する。この場合は、銅と60%量のアルミニウムを別個に溶解する。銅は木炭を被せて溶解し、1150℃まで過熱する。アルミニウムを溶解した後、細いジェットでそこに熔融銅を装入する。ここで溶湯の高い温度を下げるため、残りの40%量のアルミニウム(小塊の形で)を追加する。

母合金は、670-700℃の温度で塩化亜鉛または塩化マンガンを精練し、入念に攪拌してから150℃に予熱したモールドに注湯する。

3元アルミニウム銅-ニッケル母合金も同様の方法で溶製されるがこの場合は熔融脱酸銅の中に予め定量のニッケルが添加される。

アルミニウムニッケル母合金は、最初70%量のアルミニウムを溶解し、950℃まで過熱し、その熔融アルミニウムに200℃まで予熱したニッケル塊を装入して溶製する。ニッケル塊が溶解した後、残りの30%量の固体アルミニウムを追加する。続いて、入念に攪拌して塩化亜鉛か塩化マンガンを精練する。

アルミニウムシリコン母合金は、800℃まで過熱した熔融アルミニウムにベルを被せてけい素を追加し、溶製する。この場合ベルは予めチョークで塗装し、けい素が酸化アルミニウム膜に被さらないようにするため、アルミニウムの酸化膜を取除く。ベルを使用しなければ、大部分のけい素がスラグになる。また酸化膜を取除かなければ、けい素が酸化アルミニウムで包まれ、その溶解が著しく長くなる。

アルミニウムマンガン母合金の溶製は、焼損を削減するため、塩化バリウムによるフラックスを被せて行なう。まず、70-75%量のアルミニ

装入計算

ウムを溶解し、800-900℃まで過熱する。800℃に加熱したマンガンを熔融アルミニウムに添加し、その後残りの30-25%量の固体アルミニウムを装入する。この母合金は、装入物重量の0.05%量の塩化亜鉛で精練する。入念に攪拌した母合金は150℃に予熱したモールドに鑄込む。

アルミニウムマンガ母合金と同様の方法で溶製される3元アルミニウムマンガシリコン母合金の溶製には、アルミニウムでなく、10-20%のけい素を含むシルミンを採用する。この場合マンガンはシルミンの中に添加する。

アルミニウム鉄母合金は900-950℃まで過熱した熔融アルミニウムに1000℃に予熱した鉄を装入して溶製する。溶解した後、母合金をモールドに注湯する。

アルミニウムマグネシウム母合金の溶製では、最初カーナライトや他のフラックス(マグネシウム合金に利用される)を被せてアルミニウムを溶解し、続いて熔融アルミニウムに粒状マグネシウムを添加する。マグネシウムが完全に溶解した後、母合金を攪拌し、モールドに鑄込む。この場合母合金の酸化を防ぐため、鑄込み時に溶湯に粉末の硫黄を投入する。

インベストメント鑄造では、容量250kgまでの誘導炉が最も広く普及している。この種の利点には、溶解が迅速に進行し、中性あるいは還元性のスラグ下で行なわれるため、元素の小さい焼損を挙げることができる。各種の元素の焼損率は、大きい範囲で変動する(表80)。

表80 元素の焼損率(%)

鋼の溶解							非鉄金属の溶解						
C	Si	Mn	Cr	W	Ti	Al	Zn	Sn	Pb	Fe	Al	Si	Mn
5-15	10-20	30-50	5-10	3-5	40-60	30-50	6-10	1-3	2-4	1-2	1-3	5-7	1-2

ニッケル、モリブデン、硫黄及び磷はほとんど焼減りしない。酸性ライニングを施した炉で溶解する場合けい素は焼損せず、反対にライニング材から熔融金属への浸透によって<溶加>する。化学成分の点で良質の鑄物を製作するには、元素の焼損を補償せねばならない。

装入計算は次の基礎データを利用して行なう。a) 鑄物用金属の必要な化学成分、b) 装入物の化学成分、c) 元素の焼減り。

装入計算は主要元素に対して行ない、その後害的混入物の許含有量を調べる。装入物内の各種元素の計算含有量は次式から求められる。

$$K_{\text{M}} = \frac{K_{\text{X}}}{100 - Y} \cdot 100$$

この式で、 K_{M} —装入物内の計算元素含有量

K_{X} —熔融金属内の周知の元素含有量

Y —溶解時の元素の焼損率

表 8 1 27XГЧМ鋼に関する装入計算

装入物の成分	装入材料の化学成分 %					装入材料の割合 %	装入物全体の化学成分, %				
	C	Mn	Si	Cr	Ni		C	Mn	Si	Cr	Ni
工場内の返り材(湯口, 不良品, 切削屑など)	0.27	1.10	0.70	0.90	1.6	6.0	0.1620	0.660	0.420	0.540	0.960
鍛造工場の金属屑(ぼり, 裁断屑など)	0.25	1.05	0.65	0.80	1.6	3.9.2	0.0980	0.410	0.255	0.314	0.627
フェロマンガ(中炭素), Mn 1	1.0	80.0	2.00	—	—	0.6	0.0060	0.480	0.012	—	—
フェロクロム X 0 1 0	0.10	—	1.50	65.00	—	0.2	0.0002	—	0.003	0.130	—
	総含有量					100	0.2662	1.550	0.690	0.984	1.587
	焼減り					—	0.0266	0.620	0.103	0.084	—
	熔融金属内の含有					—	0.2396	0.930	0.587	0.900	1.587
						—	0.20—	0.90—	0.58—	0.70—	1.40—
						—	0.30	1.20	0.80	1.00	1.80

装入物内の平均元素含有量を決定すれば、装入材料の成分のパーセント含有率が導かれる。

表 8 1 は、インベストメント鑄造に用いられる 25XГЧМ鋼についての装入計算例を示す。この種の鋼は、酸性ライニングを施した炉で溶解される。

鑄物用金属の溶解

インベストメント鑄造工場では、所与の鑄物用金属の精練規定及び生産条件に合った様々の炉が採用される。

しかしながら、工程上の特徴から溶解設備に対して次のような要求が提示される。

1. 溶解炉は、鑄型の焼成サイクルに応じて稼動する。
2. 溶解炉の容量が注湯する鑄型の容量に合致する。
3. 一連の特殊合金(酸化膜を容易に形成する合金も含めて)の溶解と鑄込みには、金属の酸化を最小限に抑える真空炉を採用する。

金属材料の溶解は、高温下で進行する複雑な物理・化学的プロセスを伴う。溶解プロセスは、装入原料の物理的転化と化学反応(金属の成分、フラックス、炉気及びライニング材が参加する)から成る。

これらのプロセスについては、生産冶金プロセスの理論問題を扱った個々の論文に詳述されている。ここでは、インベストメント鑄造に広く採用されている金属材料の溶解に関する最も重要なデータを紹介するに留める。

鋼溶解炉のライニングの種類に応じて鋼の溶解は塩基性と酸性プロセスに分けられる。

炉のライニングが塩基性の場合には、石灰含有量の高い活性スラグを利用して燐及び硫黄含有量の低い鋼を精練することができる。

燐は鋼の害的要素となる。この元素は、燐化鉄を形成し、炭化鉄から炭素を排除して、鋼に《冷脆性》を与える。燐の酸化と脱燐反応は、熔融金属内(均一系反応)あるいは《溶湯-スラグ》の界面(不均一系反応)で進行する。

塩基性ライニングの炉では、酸化カルシウムと5酸化磷が化学的に安定した化合物、つまりスラグに移行する4磷酸カルシウム $(CaO)_4 \times P_2O_5$ に結合する。

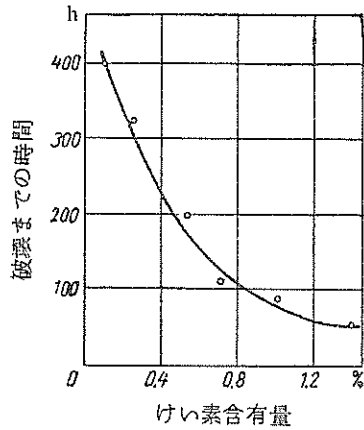


図176 合金内のけい素含有量に関する XH35B TIO 合金の長時間耐熱曲線

硫黄も同様鋼の有害元素である。硫化鉄は、固溶体に溶解せず、粒界に脆い共晶を形成して800-1200°Cの温度領域で鋼に「赤熱脆性」を付与する。

硫黄の除去プロセス(脱硫)は、高温において高塩基性活性石灰スラグの下で進行する。

酸性ライニングは塩基性石灰スラグによって破壊するため、ライニングが酸性の場合は極く限られた量だけしか石灰が採用されない。酸性スラグは、難融性で、移動性が小さい。酸性ライニングを施した炉では、脱磷及び脱硫がほとんど不可能になる。しかしながら、酸性ライニングを施した炉は、

塩基性ライニングを施した炉に勝る利点を有し、寿命が長く、価格も低い。酸性をつばは、塩基性をつばに比べて耐久性が高く、このため酸性ライニングを施した鋼溶解炉が広く普及している。

硫黄と磷含有量の低い装入物を採用すれば、酸性ライニングを施した炉でも十分良好に溶解を行なうことができる。けい素含有量を限定したマンガ、ニッケル、チタン及びアルミニウム含有量の高い特殊鋼を溶解する場合酸性ライニングから還元されたけい素が熔融金属に浸透し、極めて不都合になる。

図176は、けい素含有量とXH35B TIO(ЭИ787)鋼の長時間耐熱性の関係を示す(エ・イ・ベリコワのデータによる)。

マンガ合金の精練では、酸化マンガがライニングのシリカと反応して易融性のけい酸マンガを形成するため、酸性ライニングは容易に破壊するようになる。この場合チタンとアルミニウムはライニングからけい素を還元する。酸性炉で精練したニッケルクロム合金はシリカの微分散介在物「けい素の濁り」によって汚染される。この種の介在物は、顕微鏡で見分けることが困難であるが、初晶の間に分布して合金の衝撃値を著しく低下させ、その塑性を悪化させる。従って、このような鋼や合金は塩基性ライニングを施した炉で溶解することになる。

インベストメント鑄造工場では、誘導炉あるいはアーク炉による再溶解法を利用して酸化を伴わずに鋼が溶解される。

無酸化溶解の場合は、100%の返り材で装入物を構成するか、または鋼内の炭素含有量の削減が必要な場合70-80%の返り材と20-30%の低炭素鋼(C=0.1~0.15%、P≤0.02%)で装入物を構成する。

精練した鋼の化学成分を規定成分に合わせるため、装入物の配合計算は綿密に行なう必要がある。装入物の溶解は、金属の最大加熱下で実施する。また脱酸は、装入物が融解し、鋼の成分調整を終えた後に行なう。

脱酸では、金属及びスラグ内に溶解した酸化第1鉄の還元が生ずる。その他にまた、合金元素を部分的に還元する脱酸剤は、酸化物の形でスラグ内に存在する。ここで還元した合金元素は新たに金属内に移行する。

高周波誘導溶解

誘導炉はインベストメント鑄造工場で広く採用されている。最初誘導炉には真空管式の高周波発振器(500000 Hzまでの)が備えられている

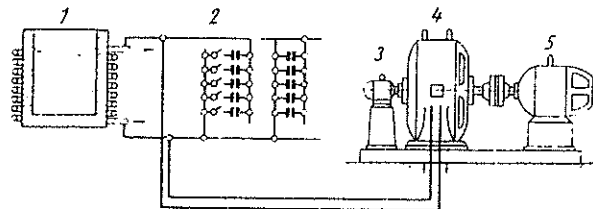


図177 高周波誘導装置

たが、その後若干低い周波数(500-10000 Hz)で稼働する可能性が現われ、機械式発振機が備えられるようになった(註、周波数を高め急速溶解する傾向にあるJACT)。この種の誘導炉の機構を図177に示し、その仕様を表82に示した。この場合誘導コイルに交番電流が給電され、その電流が誘導コイルを流れる際に炉のライニングと装入金属材料を透過する磁束を発生する。金属内に生じた渦電流が装入物を加熱し、溶解する。

表82 機械式発振機を備えた誘導炉の仕様

	るつぼ容量 (鋼で) kg	出力 KW	給電電圧 V	周波数 Hz	溶解時間 min	有効温度 °C
MΓΠ-102	150	100	$\frac{380}{220}$	2500	75	1500-1600
MΓΠ-52	60	50	$\frac{380}{220}$	2500	60	1500-1600

機械式発振機を備えた誘導炉(電動発電機式)は、次の主要ユニットから構成される。誘導コイルを備えた炉体①、コンデンサ②、励磁装置③、高周波発電機④、電動機⑤及びその他の付属装置(図には示されない)。

炉体は、絶縁体を設けたアングル材による組枠(その中に誘導コイルが取付けられる)の形をとる。この場合絶縁板は、誘導コイルの回りに炉体組枠が閉鎖回路を形成しないようにするため必要になる。誘導コイルの中に配置されるるつぼは、円錐形の金属ゲージを用いて専用のライニング材で裏張りする。このゲージは鉄板を溶接して製作される。小形のゲージは裏張り後に取除くが、容量の大きい炉用のゲージは最初のテスト溶解の際に溶解させる。

炉体組枠は炉台に固定し、一方炉体はトラニオンで支えてスパウトを中心に傾動する。炉体の傾動は電動ホイスト、油圧装置及びウォーム傾動装置などによって行なわれる。

誘導コイルはコイル状の銅管（巻数は出力に応じて決定される）である。誘導コイルには、高周波電流が給電される。誘導コイルは、その中に水を通して冷却し、その過熱及び溶解を防ぐ。この場合炉の傾動を可能にするため、電流と冷却水の供給は、それぞれのケーブルとホースを用いて行なう。また誘導コイルは、ライニング側を特殊な塗料やマイカ板あるいは石棉板で保護する。

コンデンサは架台に収納される。この場合コンデンサは、発電機の需要出力を大きく削減し、経済的に炉の稼働を調節する（ $\text{COS}\phi$ を1に近づけるための調整）役目を持つ。周波数2.5 - 10 KHzの電動発電式誘導炉には、油冷却あるいは油・水冷却を伴う平形紙コンデンサが採用され、また周波数が更に高い誘導炉ではマイカコンデンサ、セラミックコンデンサ及びエアーコンデンサが用いられる。コンデンサの一部は、必要に応じて接続し、誘導炉の出力を調節する。

励磁装置（電動機によって回転する直流機）は、回転発電機の励磁に利用される。励磁装置は発電機の固定子の磁極巻線に接続される。若干の誘導炉では励磁装置がセレン整流器に変更される。

発電機は高周波電流を発生させる役目を持つ。固定子（固定巻線）には励磁巻線（磁極巻線）が配置される。回転子と固定子は、それぞれ突起と溝を持ち、回転子の回転時に磁束のパルスを惹起する。

発電用電動機は商用周波数の交流モータで、発電機と一体に組立てられる。

誘導炉のライニング 炭素鋼は通常酸性ライニングを施した炉で溶解される。酸性ライニング用の原料としては、けい岩あるいはけい砂及びほう酸が挙げられる。次に、例として塩基性材料による炉のライニングについて検討する。酸性ライニングも同様の方法で施す。

合金鋼（ステンレス鋼、特殊鋼など）の大部分は、塩基性ライニングを施した炉で溶解される。塩基性ライニングの原料には、マグネシヤれんが（粉砕物）、クロムマグネシヤれんが（粉砕物）、冶金用マグネサイト（粉末）、耐火粘土、水ガラス、ほう酸が挙げられる。

マグネシヤれんが及びクロムマグネシヤれんがは最初ジョークラッシャで破碎し、続いてランナーミルあるいはボールミルで粉砕し、4 μ m以下の粒度にする。その後、篩目寸法3 - 5 μ mの篩で篩分する。得られた材料は、箱に入れて乾燥した場所に保存し、必要に応じて取出し、ライニング材を調節する。

耐火粘土は150 - 200 $^{\circ}$ Cの温度で乾燥し、ランナーミルで粉砕してから μ m4篩で篩分する。その後、粉状粘土は箱に入れ、密閉して保存する。

ライニング材は次のような成分で採用される。95%粉砕マグネシヤれ

んがあるいは粉碎クロムマグネシヤれんが，0.2 - 6%耐火粘土，1.5 - 2%ほう酸あるいはほう砂。最初，マグネシヤを入念に攪拌し，続いてほう酸を加え，再び攪拌する。ここで，水を添加し（3 - 4%の水分まで）素地全体を攪拌する。この場合ミキサには，パドル形もしくはプロペラ形が採用される。

るつぼのつき固めの前に，炉の傾動機構，水冷装置及び誘導コイルの固定と絶縁を必ず点検する。続いて誘導コイルに圧縮空気を吹付けて清浄する。誘導コイルは，80%シヤモット粉末，20%アルミナセメント及び水（100%を越えて）から成る専用のペーストで絶縁する。ペーストは誘導コイルの間につめ込み，その内面を平滑に仕上げ乾燥する。さらに，その内側に2枚のア

スベスト板を被せ，取外し式のスプリングリングで固定する。炉底には2 - 3層のアスベスト板を敷き，6 - 10 mmの厚さにする（図178）。

炉底のアスベスト板の上にライニング材（厚さ100 - 130 mm）を置き，ランマで均一かつ緻密につき固める。この層に金属製のゲージを据える。ゲージの基底の回りにあるランニング層の表面をほぐし，ゲージと誘導コイル間の高さ20 - 40 mmの環状空間にライニング材を込める。各層を緻密にランニングし，次の層の結合を良くするため，表面をほぐす。るつぼの壁は，取外し式のリングを順次取外して誘導コイルの上端までつき固める。続いて，ゲージを拔出するか，またはテスト溶解で溶解する。この場合るつぼ壁に水ガラスの50%水溶液を塗布することもある。ライニングの上部リングとるつぼのスパウトは5 - 10%の水ガラスを添加した同様のライニング材で製作する。

るつぼに黒鉛製のコアー（るつぼの寸法に近い）を装入し，そこに10 - 40 KWの電力をかける。このようにすれば，1.5 - 2時間でるつぼの乾燥と焼成が行なわれる。その後，黒鉛製コアーを拔出し，圧縮空気を吹付けてから，ライニングの状態を調べる。この場合ライニングに亀裂がなければ，合格品として見做される。仮に操業過程で小さい亀裂や侵食が認められると，上部リングの製作に用いた水ガラスを含むライニング材で目詰めを行なう。

装入物を装入する前に炉を清浄し，再度ライニングの状態（亀裂，侵食その他の欠陥）と誘導コイルの状態（絶縁，水冷装置について）を点検する。

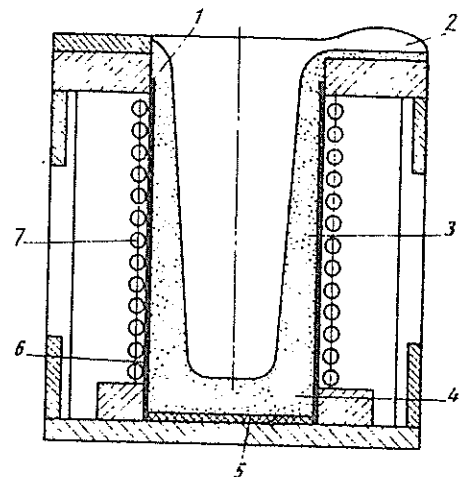


図178 高周波誘導炉のライニング
1-上部リング(装入口) 2-スパウト 3-るつぼ壁 4-炉底
5-石綿板 6-石綿布 7-誘導コイル

鋼の誘導溶解 誘導溶解は比較的速く進行するため、完全な迅速分析とそのデータに基づく溶融物の化学成分の補正がほとんど不可能になる。溶解は装入計算に基づき行なう。装入材料はその種類、成分及び寸法に従って選択する。ここで使用するスラグは低い温度を持ち、活性が不十分である。このため、溶解は清浄な金属スクラップと返り材及びフェアラロイを利用して酸化を伴わずに行なう。この場合脱磷、脱硫及びひば散脱酸が困難になるため、硫黄及び磷含有量の小さい装入材料を選択する必要がある。

装入材料の寸法については、るつぼの完全充填条件から選択する。この場合難融性のフェアラロイは炉の最大加熱部、つまりるつぼの下半分に入れる。粗大装入物間の空隙を埋めるため、細かい装入物を用いる。完全に充填すれば、溶解を速め、電力消費量を削減することができる。また溶解を速めるため炉蓋を被せる。誘導コイルよりも上に装入材料を充填すれば、磁力線が透過せず、熱伝達だけで溶解することになる。その他にまた、炉の完全な密閉が妨げられることになる。

高部の装入塊は溶融に伴って下降し、互いに融合して《ブリッジ》を形成する。この《ブリッジ》の下で溶融金属が過熱され、ライニングの破壊が惹き起こされる。この場合棚吊りした装入塊は一度引上げて溶融金属浴に落とし込む。

冷えた装入物（湿った装入物はなおさら）を溶融金属に装入すると溶湯の沸騰や飛散が生ずるようになる。飛散した溶湯は固体装入塊に付着して《ブリッジ》の形成を促進する。

装入物の融解と沈下に伴って予熱した残りの装入物を装入する。

合金元素の添加 ニッケルは、溶解過程で酸化しないため、装入時に添加する。ニッケルを速く装入すれば、電解ニッケル内に含まれるガス（水素）やニッケルショット内に含まれる水分が溶湯から分離されるようになる。フェロモリブデンも同様、装入時に添加する。

タングステン（融点約3400°Cの難融性元素）。溶融金属内でのその溶解には長時間要するため、タングステンあるいはフェロタングステンを予め900-950°Cまで加熱して添加し、その溶解時間を短縮する必要がある。タングステンの比重は極めて大きい。その溶解を速めるため、浴の下部を攪拌すると効果的である。金属屑で溶解する場合は、装入物にフェロタングステンを添加する。

金属クロムは主として低い炭素含有量が要求される場合に利用され、特殊鋼（耐熱鋼など）の溶製時に装入物に添加される。他の合金鋼の溶製では、通常各種のフェロクロムが用いられる。フェロクロムは、装入時に、あるいは母材金属の溶解後に添加する。フェロクロムの添加後、スラグは酸化クロムによって緑色を呈するようになる。この場合脱酸剤が酸化クロムを還元するため、脱酸後スラグは明るい色に変る。

高クロム鋼を精練する場合はフェロクロムを予め加熱炉で加熱し、溶解時間を短縮する。フェロクロムは鋼よりも比重が小さいため、溶解時に浮

上するようになる。従ってフェロクロムを定期的に溶湯の深部へ押込むことが必要になる。

バナジウムは簡単に酸化するため、出鋼の5 - 10分前に良好に脱酸した溶鋼に添加する。

チタンはバナジウムよりも強く酸化する。従って、その添加は出鋼の2 - 3分前に行なう。またチタンは鋼よりも著しく軽いため、専用のベルまたはロッドを用いて溶湯内に挿入し、その摂取を良好にする。

仮にフェロチタンを予熱し、溶解時に溶鋼内に連続的に装入すれば、チタンの添加量の70%が鋼に溶解する。このような手法を利用しない場合は、チタンの摂取率は0.5 - 0.4になり、焼損が著しく増加する。

すべての装入物が溶解した後、スラグを被せる。誘導炉では、透過磁力線によって溶湯鏡面の中央部が隆起するため、スラグがらつぼ壁に集中する。従って、経時的にスラグを被せて溶湯面が直接大気に触れないようにする。

スラグを被せると、溶湯内へのガスの侵入が防がれ、個々の元素の焼減りや熱損失が削減される。酸性ライニングを施した炉で鋼を溶解する場合は、スラグ混合物として粉碎ガラス屑がよく用いられる。

塩基性ライニングの場合、スラグは60 - 80%のばい焼石灰、15 - 20%の粉末マグネシヤ及び5 - 20%のほたる石から成る。高耐熱ニッケル合金には次の成分のスラグが利用される。50% CaO, 25% Al₂O₃ 18% MgO 及び7% CaF₂。

鋼の溶製終期には、スラグに粉碎コークスまたは電極屑、フェロシリコンもしくは複合脱酸剤(シリコカルシウム、ほう酸カルシウム)を添加する。

スラグの成分はらつぼの耐久性に著しい影響を及ぼす。例えば、高塩基性スラグはライニング壁に侵透してバインダーと反応し、らつぼ壁を腐食する。その他にまた、スラグ内に冷却時に空気中で粉散するような成分があれば、スラグの侵透したらつぼ壁も同様に冷却時にぼろぼろになる。このようなことから、50% SiO₂, 20% CaO, 25% Al₂O₃の塩基度の低いスラグでよく溶製が行なわれる。

誘導溶解に際するスラグの総量は、金属装入物の重量の~3%になる。

誘導炉での金属の溶解速度は、装入物の種類、らつぼ内へのその充填密度及び溶解の電気パラメータによって左右される。溶解を発電機の最大出力下で行なうため、電気共振条件の調整を行なう。この場合は、必要容量のコンデンサを接続して調整する。コンデンサの必要容量は、加熱、融解ならびに装入物の追加装入に際する金属の透磁率の変化によって溶解過程で変化する。

装入物の溶解は発電機の最大出力下で行ない、一方熔融金属の成分調整は小さい出力下で行なう。

容量の大きい炉(150 - 250 kg)で鋼を溶解する場合は、炭素とマ

ンガン（塩基性炉のとき）あるいは炭素とけい素（酸性炉のとき）に対する迅速分析用試料を採取する。分析を待つ間、溶解時に形成したスラグを取除き、同一成分の新しいスラグを被せる。

一方容量の小さい炉（10 - 50 kg）で溶解する場合は、溶解が速く進行するため、迅速分析は行なわない。従って、装入物の成分は補正せず、厳密な計算に基づき溶解する。

分析の結果加炭が必要になるとき、まずスラグを除き、溶湯鏡面に粉碎電極屑もしくは木炭を添加し、その後新しいスラグを導入する。この場合炭素の摂取率は70 - 80%になる。

鋼の加炭に木炭や電極屑を利用すると溶解時間が長くなるため、炭素フェロクロムあるいは鑄鉄を利用することが望ましい。

マンガンは、その平均含有量に基づき添加する（すなわち、所定の化学成分に従って）。良好な溶解条件では、経済的操業のため、化学成分の下限に対する摂取を考慮して合金元素を添加する。

すべての場合鋼の成分調整は、取鍋内ではなく、炉内で行なう。

化学分析用の試料を採取する前に、熔融金属全体を入念に攪拌する。

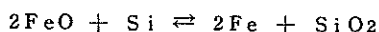
熔融量が小さい場合は、前述の通り迅速分析が不可能になるため、装入計算を正確に行ない、時間や電気パラメータに関する溶解条件を厳密に維持する。このようにすれば、以前の溶解の分析データから必要な化学成分が得られるようになる。

脱酸 脱酸剤には、炭素、けい素、マンガン、チタン（あるいはこれらのフェロアロイ）、アルミニウム、炭化カルシウム、ならびに複合脱酸剤（シリコカルシウム、シリコマンガン、アルモバリウムカルシウムなど）が用いられる。拡散脱酸では、脱酸剤が破砕あるいは粉碎した形でスラグ内に添加される（アルミニウム）。

炭素による脱酸は次のように進行する。

炭素による脱酸時の副生成物はガスであり、従って熔融金属は非金属介在物で汚染されない。炭素による脱酸はまた若干の欠点も有する。すなわち、金属の加炭の可能性が現われると共に、炭素による拡散脱酸に長時間要する。

けい素、マンガン及びアルミニウムによる脱酸は次の反応式に従って進行する。



けい素は強い脱酸剤であるが、その脱酸能は温度上昇に伴って低下する。マンガンによる鋼の脱酸度は、けい素に比べて著しく小さい。従って、マンガンだけで鋼を完全に脱酸することはできない。1酸化マンガンは鋼に溶解せず、スラグに移行する。マンガンは硫黄と反応して鉄よりも融点の高い化合物を形成する。硫化マンガンはスラグに完全に移行し、熔融金

腐から硫化物が除去される。

最終脱酸にはシリコカルシウム（0.1%以下の）が使用される。このシリコカルシウムは鋼内の介在物特性を変える（縞状の介在物は球状に変化する）。

スラグ下での拡散脱酸 溶解量が多い場合（>100kg）脱酸は、粉碎コークス、フェロシリコンあるいは複合脱酸剤（シリコカルシウム、ほう酸カルシウム）をスラグに添加して拡散法で行なわれる。この場合スラグは急速に明るい色に変化する。誘導溶解時の溶湯の著しい運動はある程度脱酸を促進するが、この良好な循環を利用して塊状の脱酸剤（容量の小さい炉での溶解によく使用される）で脱酸することが望ましい。溶湯の循環流は脱酸生成物を溶湯表面に運び、スラグに転化させる。

拡散脱酸では鋼の化学成分や炉の機構に応じて各種のスラグが採用される。炭素含有量0.3%以下の構造用炭素鋼は白色スラグで脱酸され、中炭素鋼及び高炭素鋼はアーク溶解の場合炭化物スラグで脱酸される。またステンレス鋼はマグネシヤ・アルミナ系スラグで脱酸される。

白色スラグを装入する前に酸化性スラグを汲出し、上限含有量の計算に従ってフェロマンガンを添加し、続いて80%石灰と20%ほたる石から成る高塩基性スラグを装入する。スラグの量は炉容によって左右され、炉容が大きい場合装入重量の2-3%にとり、また炉容が小さい場合は3-7%にとる。

脱酸に当っては、スラグ混合物に粉碎コークスや木炭（重量が小さく、鋼を強く加炭しない）を添加する。

スラグ内の炭素は次の反応式に従って1酸化マンガんと酸化第1鉄を脱酸する。



脱酸の前スラグは暗色を呈するが（酸化鉄と酸化マンガが存在するため）、脱酸に伴って明色に変わる。最終脱酸に際しては粉碎した75%フェロシリコンを添加し、その粒子が懸濁状態でスラグ内に留まり、金属内に移行しないようにする。

フェロシリコンの量はスラグへの炭素の添加量に等しくとる。最終脱酸後、スラグは白色になる。良好なスラグは冷却時に粉末状に粉散する。

真空誘導炉での特殊合金の溶解

ニッケルベースのMCタイプの铸造合金は、铸造タービンプレードの製作に必要な高い耐熱性を持つ。この種の耐熱合金の主な製法は、インベストメント铸造である。しかしながら、この合金は、アルミニウムとチタンの含有量が大きいため、容易に酸化し、溶解と铸込みにおいて酸化膜（铸物に侵入してその緻密度と強度を低下させる）を形成する。酸化膜の大きさとその分布は、種々様々である。ブレードの先端、殊にエッジ部での酸化膜の存在は極めて望ましくない。この場合表面に出ない铸物体内での

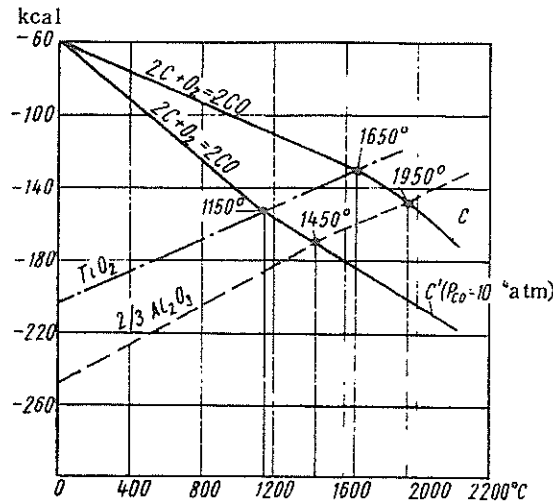


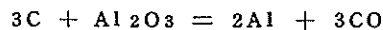
図179 1g・molの酸素の反応に対する金属酸化物の自由生成エネルギー

アルミニウムとチタンを含む耐熱鋳造合金の溶解は広範に普及している。アルミニウムは、酸素に対する親和性の点でマグネシウムとカルシウムに劣るだけである。

真空下では任意の化学反応が促進され、その過程で非揮発性物質からガスや揮発性物質が形成し、その結果所与の反応温度が著しく低下する。

図179は、酸化チタンと酸化アルミニウムの自由形成エネルギーと温度の関係を示す。

常圧下では、1650°Cの温度において炭素が酸化チタンの脱酸を開始し、また1950°Cの温度において酸化アルミニウムの脱酸を始める。圧力の低下に伴って炭素の脱酸能が上昇し、 $1 \cdot 10^{-4}$ mm Hgの真空度で脱酸開始温度がほぼ500°C低下するようになる。つまり、酸化チタンは1150°Cで、また酸化アルミニウムは1450°Cでそれぞれ炭素によって脱酸される。 $8 \cdot 10^{-3}$ から $3 \cdot 10^{-3}$ までの真空度における耐熱合金の真空溶解の実験から、1550-1650°Cでの次の反応に基づく酸化アルミニウム(酸化膜)の脱酸が裏付けられる。この場合1酸化炭素はガスとなって出る。ソ連では、全ソ電熱設備研究所方式の真空高周波誘導炉の



生産が始まっている。

4基の真空溶解・鋳込み装置 ИВП2-10/20Л から構成された溶解プラントは長年良好に稼動している(図180)。それぞれの装置は、真空室に収納された回転式誘導炉(るつぼ炉)の形をとる。この炉には、容量5と10ℓのるつぼを持つ2種の交換式誘導コイルが備えられ、МГП-100B型電動発電機から給電される。真空系(図181)は、4台のBH-6Г型ホールディングポンプから成る。この場合常時2台が作動し、残りが予備となり、自動的に切換えられる。それぞれの真空装置には、並列作動する

酸化膜の巻込みもブレードの性能にある程度影響を及ぼす。

被膜(酸化物や窒化物)の形成は、原合金の溶製とモールドへのその鋳込みならびに鋳造合金の溶解と鋳物の鋳込みに際して1700°C以下の温度で進行する。このような現象は、脱酸剤による熔融金属の処理、真空中あるいは不活性雰囲気中での溶解と鋳込みによって排除することができる。

真空高周波誘導炉でのアル

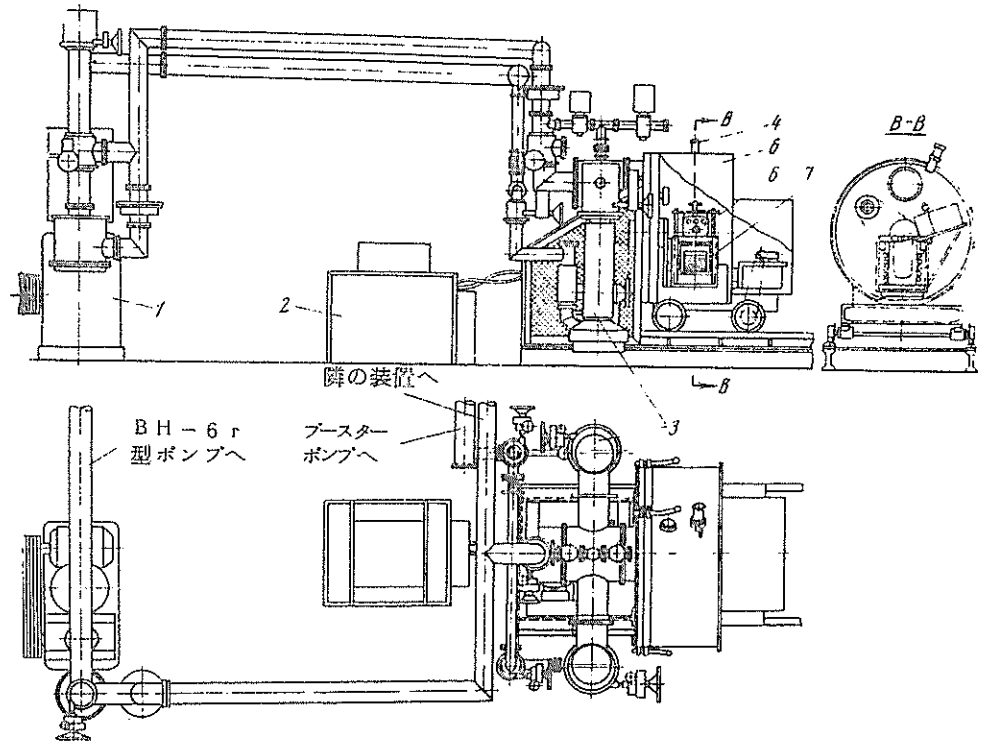


図180 MBP 2-10/20 型真空装置

1-BH-6r 型ホールディングポンプ 2-コンデンサ 3-BH-1500 型ブースターポンプ 4-輻射光温計 5-真空室 6-鋳型 7-誘導炉

2 台の蒸気油式の BH-1500 型ブースターポンプが備えられる。このため 1 台のポンプが停止した場合でも溶解・鋳込み装置の確実な作動が可能になる。このプラントには、るつぼのライニングの状態を常に検査し、危険な状態を知らせる計器が取付けられる。

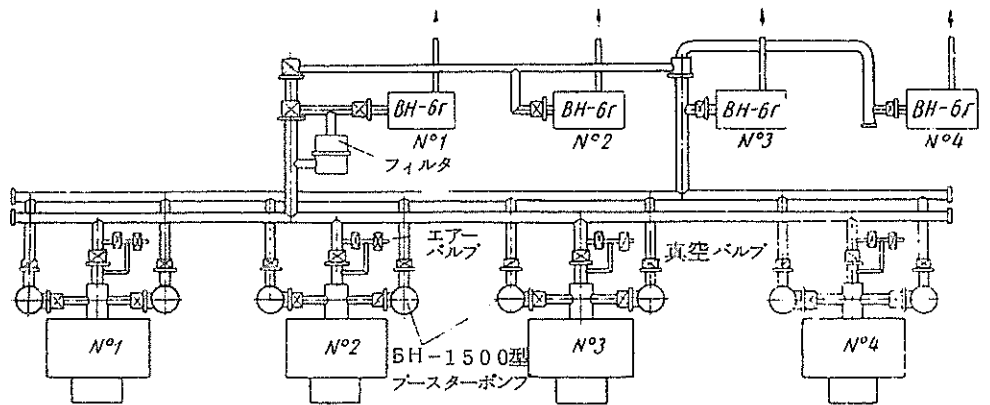


図181 MBP 2-10/20 型溶解装置の真空系 (№1, 2, 3 及び 4)

るつぼのライニングは、溶融マグネサイトとアルミナの 1 : 1, 2 : 1, 及び 1 : 2 の混合物を直接炉にランニングして施される。この場合上記の材料の粉末 (粒度 1 mm 以下) は均一に分布するまで入念に攪拌し、その後アーク炉で融合するか、あるいはブリケットの形で 1600-1800°C

表 8 3 間欠式 (П Ф) と連続式 (Н Ф) の鋼溶解用の真空誘導炉の仕様

パラメータ	誘導炉の型式									
	ИСЛВ- 0.0 ПФ	ИСЛВ- 0.025ПФ	ИСВ- 0.06ПФ	ИСВ- 0.01ПФ	ИСВ- 0.025НФ	ИСВ- 0.06НФ	ИСВ- 0.16НФ	ИСВ- 0.6НФ	ИСВ- 1.6НФ	
るつぼの容量 (鋼で) , kg	10	25	$\frac{60}{25^{**}}$	10	25	60	160	600	1600	
定格出力, KW	15.2	152	205	173	173	247	377	1216	2677	
発電機の出力, KW	100	100	100	100	100	100	100×2	500	500×2	
発電機の電圧, V	400	400	400	400	400	400	400	750	750	
誘導コイルの電圧, V	500	500	500	500	500	500	500	750	1000	
周波数, Hz	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	1000	1000	
るつぼ内の金属の最大温度, °C	1700	1700	1700	1650	1650	1650	1650	1650	1650	
溶解室内の残留圧力, mmHg	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	
作動サイクル時間, h ※	0.36	0.43	$\frac{0.9}{0.6}$	0.37	0.5	0.92	1.5	3.0	3.6	
溶解能力, kg/h	27.8	57.5	$\frac{67}{42}$	27.0	50	65	106	200	445	
単位電力消費量, KW·h/kg	2.2	1.3	$\frac{2.7}{1.9}$	1.8	2.1	2.7	2.5	2.6	3.22	
冷却水の流量, m ³ /h	4.5	4.5	10.6	4.8	4.8	15.4	10.2	7.50	10.5	
鋳型の外形寸法, mm										
長さ	390	390	500	500	500	600	600	2000	2000	∅180
幅	300	300	500	400	400	500	500	1200	1200	—
高さ	250	250	500	600	600	1000	1000	1200	1200	1200 鋳型 2100 モールド
誘導炉の重量, t	5.8	5.8	14.9	1.34	1.35	30.8	33.5	14.4	14.4	
電気設備の重量, t	4.1	4.1	4.6	4.6	4.7	5.1	8.3	21.5	48.2	

※ ※ 分子 - 真空中の場合、 分母 - 不活性ガス雰囲気中の場合
 ※ 平均値は金属の種類及び溶製法によって左右される。

の温度において焼成する。この熔融混合物は大きい粘度を有する（流動性がない）。融合物はスピネルと固溶体から成る。融合物は凝固後脆くなり、それを破碎・粉碎して4-2mm, 2-1mm及び1mm以下の粒度に篩分する。

ライニング材は3つの粒度の粉末（10% 4-2mm, 20% 2-1mm, 残り1mm以下）から調製する。ベース材料には、2%の酸化剤（ほたる石）、1%のバインダー（デキストリン、パルプ廃液、糖密）及び4%の水を加える。

混合物はパドル形ミキサあるいは混練ミルで調製する。まず微粒粉末（粒度1mm以下）と酸化剤を混合し、続いて粗粒（粒度4-2mm）と中粒（粒度2-1mm）の粉末を加える。綿密に攪拌した後、乾燥混合物にバインダーの水溶液を添加する。続いて、金属製のゲージで層別につき固めてライニング材をランニングする。ランニングを終えたつぼは、出力を15から50KWまで徐々に上げて40-70分間電気乾燥する。ここで良好に乾燥したつぼを徐々に加熱し、その中のゲージを溶解する。その後、耐熱合金層を利用して真空中でテスト溶解を行なう。

ライニングの耐久力は、ИВП2-10/20Л型装置での溶解に際して500-600チャージに達する。この場合溶解時間は装入物の重量（10-15Kg）に関連して15-20分になる。

ИВП2-10/20Л型真空装置の操業経験を基礎にしてるつぼ容量の異なる間欠式の装置が多数開発された（表83）。

間欠式の炉を採用する場合は、溶解と鑄込み毎に真空室を常圧に戻さねばならない。この場合注湯された鑄型を取出し、るつぼを清浄してから再び装入物を装入し、新しい鑄型を据付ける。続いて真空室から排気する。このようなことから、間欠式の炉は繰返しの減圧に多くの時間を費やすことになる。その他にまた、炉の熱損失とるつぼの急激な温度変化（ライニングの耐久力を低下させる）ならびにるつぼ壁での残留熔融金属の酸化が生ずる。この場合凝結滓が形成し、その後のチャージの熔融金属が汚損され、鑄物の品質が低下する。

上記の欠点をなくすため、るつぼ容量の異なる半連続式の真空装置が開発された（表83参照）。

永久磁石合金の溶解の特徴

装入材料 装入材料内の混入物、特に炭素の含有量は最小限に抑えねばならない。磁石合金は、0.03% C, 0.35% Mn, 0.15% Si, 0.025% P, 及び0.025% S以下とする。АНКО-4合金に0.1%の炭素が含有すると、残留磁気が20%、保磁力が40%、また最大磁気エネルギーが50%それぞれ低下する。

高品質磁石の製造には、次の装入材料を採用する必要がある。

1. 棒状あるいは板状のЭА及びЭ（GOST3836-47）低炭素電気鋼（アームコ鉄）。
2. GOST849-70に基づく陰極板状あるいは鑄塊状のH-0⁺及びH-1

ニッケル。

3. GOST123-67に基づくK0及びK1Aコバルト地金。
4. GOST11069-64に基づくA95, A7, A6, A5アルミニウム地金。
5. GOST546-67に基づく陰極板状のM0及びM1銅。
6. 磁石合金の返り材と屑（湯口，外部欠陥を持つ不良品）。

1チャージに加える金属屑の量は装入物の重量の40%以下にとる。

装入材料は冷間で切断する。ただし，装入材料のガス溶解は許容されない。また装入物に加える返り材や屑は，鑄型材料，酸化物，油，その他の汚染物を十分除去して使用せねばならない。

上記の装入材料の他に，硫化鉄が添加されることもある（組織の微細化と強化のため）。AHKO-4合金を溶解する場合には，通常装入物の重量に対し20.3%の硫化鉄が添加される。

磁石合金は酸性あるいは塩基性のライニングを施した高周波誘導炉で精練される。

性質の安定した磁石合金を製造するため，溶解を強化する必要がある。この場合全装入物の溶解速度は0.7-1.2 kg/minになる。溶解時間の短縮のため，装入材料はるつぼの容量に応じて最適な寸法に切断する（表84）。

表84 装入材料の寸法とるつぼの容量

るつぼの容量 kg	鉄棒の寸法		コバルト地 金の重量 kg	ニッケル素 材の寸法 mm	銅素材の 寸法, mm	アルミニウ ム地金の 重量 kg
	直径 mm	長さ mm				
10~20	15-20	110-130	0.9-1.5	30×100	30×100	0.8-1.1
20~30	20-35	150-200	1.5-2.5	60×160	60×150	1.1-2.4
30~50	20-50	200-230	2.5-4.0	80×250	80×200	2.5-4.0

その他にまた，ニッケル，銅及びアルミニウムについては，るつぼに装入する前に300-400°Cまで予熱することが望ましい。装入材料の装入と溶解は，定められた順序で行なう必要がある。酸性るつぼで溶解する場合は，最初粉砕ガラス（装入物重量の2%量）を装入し，次に鉄とコバルトを装入する。ここで通電し，最大出力下で溶解を行なう。

大部分の鉄とコバルトが溶解した後，るつぼにニッケル，銅及び硫化鉄を装入し，続いて返り材（湯口，その他の屑）を装入する。装入物の溶解時に形成した熔融浴は常時スラグで被うようにする。

すべての装入物が溶解し，熔融金属を若干過熱した後，スラグを取除き素速く大きいアルミニウム塊を装入する。続いて熔融浴を入念に攪拌し（電気鋼製の棒で），2-3分間保持した後，新たに形成したスラグを取除き，700-850°Cに予熱した取鍋に熔融金属を注入する。この場合出湯前の溶湯温度は1550-1600°Cにとる。温度は浸漬型熱電対で測定する

熔融金属を著しく過熱すると，磁石が脆くなり，研削時にチップングを生ずる。

アルミニウム合金の溶解

アルミニウム合金のインベストメント鑄造では、比較的容量の小さい0.15から0.5 tまでの炉が採用される。この種の炉には、CAT型の抵抗炉（るつぼ炉）が挙げられる。

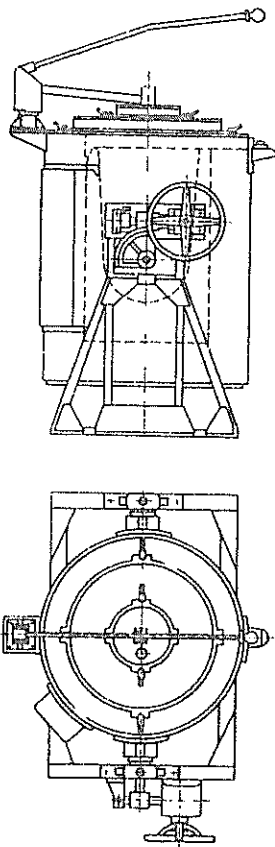


図182 CAT型回転式るつぼ炉

この炉は、シャモットレンガで内張りしたジャケット（鉄板製の）に組立てられる。そのライニングには溝が設けられ、そこに輻射で鑄鉄製のるつぼを加熱するニクロムあるいはクロメル発熱体が埋込まれる。

装入物は、ジャケットの上部リングに支えたるるつぼに装入し、カバーを被せる。CAT型の炉は回転式と固定式に製作される。インベストメント鑄造では回転式の方がより便利になる（図182）。CAT型の炉は可搬形で、取扱いも簡単である。その他に大きい機動性を有する。一方、その欠点には大きい単位電力消費量（熔融金属1 t当り550-600 KW）、鑄鉄製のるつぼとの反応による溶解金属への鉄の浸透及び鑄鉄製のるつぼの大きい消耗が挙げられる。

アルミニウム合金溶解用のるつぼ形抵抗炉の仕様を表85に示した。

アルミニウム合金の溶解には、より経済性の高い鉄心を備えた低周波誘導炉も使用される。

鉄心を備えた誘導炉は短絡変圧器の原理で稼動する（つまり、1次巻線-誘導コイル、2次巻線-溝内の熔融金属）。この種の炉の単位電力消費量は、他の炉に比べて著しく小さくなる。また溶解時の焼損も小さい（1%以下）。低周波誘導炉を採用する場合は連続操作が望ましい。チャージ間の休止に際しても炉に熔融金属〈残湯〉を残す必要がある（炉の溶解溝の充填量）。

この間、炉は定格出力よりも1/5-1/6小さい出力下で稼動する。

アルミニウム合金に対しては、有効炉容の点で容量0.5 tのHA-0.5型炉が最も小さい炉になる。図183は、炉の外観（a）とライニング（b）を示す。炉は、ライニングした浴を持つ円筒形の上部溶接ジャケット①、単相誘導ユニット②、取外し式継鉄を持つ磁気回路⑤及び銅製の中空異形管で製作された水冷誘導コイル⑥から構成される。また誘導ユニット②は、円形もしくは楕円形の2つの垂直溝③と角形の1つの水平溝④を持つ専用充填材を填めた鑄造ジャケットの形をとる。炉には、ライニングの溝部分を冷却するブローワ⑦が取付けられる。炉への装入は、蓋⑧で開閉される装入口から行なわれる。炉の傾動のため、プランジャを持つ油圧機構⑨が

表 8 5 CAT型るつぼ形抵抗炉の仕様

炉の型式	るつぼの容量 kg	変圧器のKW 出力	炉物の金重量 kg	外形寸法 (長さ, 幅) mm	高さ, m	
					全高	床面まで
回転式CAT-0.15A	150	40	960	1.75×1.34	2.30	—
回転式CAT-0.25A	250	60	1170	1.87×1.44	2.38	—
回転式CAT-0.50A	500	80	1570	2.00×1.59	2.62	—
固定式CAT-0.15B	150	40	610	2.00×1.20	2.09	0.96
固定式CAT-0.25B	250	60	830	2.20×1.30	2.05	0.76
固定式CAT-0.50B	500	80	1120	2.43×1.50	2.34	1.04

備えられる。熔融金属は、炉を傾けてスバット⑩を介入して注出する。

IA-0.5型誘導炉は連続操業に対して採用される。炉の始動期間は、炉のライニング時間を含めると、1-1.5カ月になり、従って操業に当っては2基以上据付ける必要がある。シャモット・けい岩素地で製作された炉の溝部分のライニングの耐久力は2000-3000チャージに相当する。炉の溝部分には、操業中に酸化アルミニウムが蓄積する。従って、1交代当り1回か2回専用の工具で清浄する必要がある。IA-0.5型誘導炉の全容量は0.8tになる(その中で、溝部分-0.3t, 溶解室0.5t)。炉の定格出力125KW, 変圧器の出力180KW。単位電力消費量450-445KW・h/t。溶解時間2h。空操業時の出力22KW。熔融金属の出湯は、炉の溶解能力(250kg/h)の範囲内で定期的に行なわれる。

鉄心を有する商用周波の誘導炉の欠点に次のものが挙げられる。

- 1) 連続操業の必要(炉には常に残湯を残さねばならない)。
- 2) 長い始動期間。

鉄心を有する低周波誘導炉の上記の欠点をなくすため、ヴェ・ア・ヤコフレフが容量250と500kgのアルミニウム合金溶解用のるつぼ形低周波誘導炉を開発した。この種の炉は広く推奨でき、ИПА-250及びИПА-500の型式で工業生産されている。

図184はるつぼ形の低周波誘導炉を示す。この誘導炉は、厚肉るつぼ、蓋、誘導コイル、断熱装置及び磁気回路から構成される。この場合るつぼは、油圧傾動装置で反転する炉体のフレームに据付ける。装入物の加熱と溶解は、電磁誘導作用によるジュール熱及び誘導電流によって加熱されたるつぼからの輻射熱によって起こる。このため、単位電力消費量が著しく減少する。この種の炉の効率は、極めて高く、0.85に達する。

アルミニウム合金の溶解には鑄鉄製るつぼが採用され、銅合金の溶解には黒鉛製るつぼが採用される。

この場合重油あるいはガスるつぼ形炉で起こるような加熱ガスによるるつぼの外壁の酸化がないため、誘導炉でのるつぼの耐久力は数倍増加し、それに伴ってるつぼの交換に要する支出が削減される。

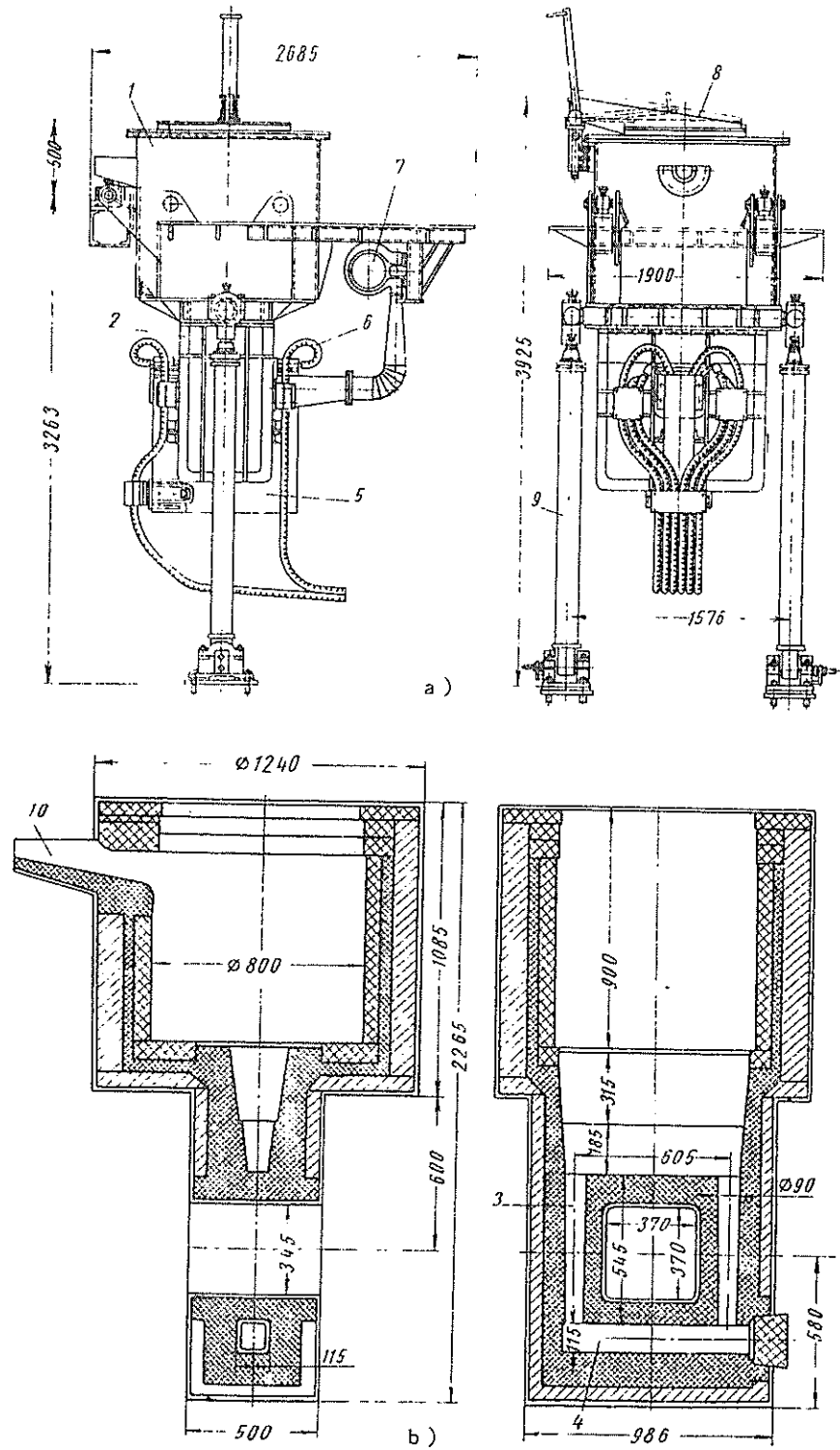


図183 VA-0.5型誘導炉
 a-概観 b-炉のライニング

表 8 6 ИПА-250 及び ИПА-500 型低周波誘導炉

パラメータ	ИПА -250	ИПА -500	パラメータ	ИПА -250	ИПА -500
炉の出力(平均), KW	70	120	るつぼの容量, kg	250	500
コンデンサの出力, KVA	190	324	加熱るつぼ内での溶解時間 min	110	110
誘導コイルの電圧, V	380	380	炉の溶解能力, kg/h	136	273
給電回路の電圧, V	380	380	効 率, %	70	75
コンデンサの電圧, V	380	380	炉の外形寸法, m	1.5× ×2.0	1.5× ×2.0
周波数, Hz	50	50	炉の高さ, m	1.6	2.0
回路電流(平均), A	270	400	単位電力消費量, KW·h/t	450	400

溶解時に鑄鉄製のるつぼを採用すれば、るつぼ壁が溶解してアルミニウム合金に鉄が浸透するようになる。このため、鑄鉄製のるつぼには150℃に加熱した状態で保護塗料を塗布し、アルミニウム合金への鉄の浸透度を低下させる。

アルミニウム合金への鉄の浸透を完全になくし、鑄鉄製のるつぼの交換に要する支出を削減するため、一連の鑄物工場ではИПАタイプの誘導炉に耐熱コンクリート製のるつぼを使用している。

このコンクリートは、水ガラスで固定したシャモット・マグネシヤクリンカ及びけい弗化ナトリウムから成る。この種の無セメントコンクリートの硬化は、混合物成分の相互反応時に生ずる物理・化学的プロセスによって起こる。この場合ホルステライトとコーシアライトが形成し、すべての成分を強固な均質素地に結合する。図185は、耐熱コンクリート製のるつぼを備えた炉の構造を示す。

アルミニウム合金の溶製は、高温の溶解炉で進行する相互拡散プロセスによるアルミニウムと他の金属との融合によって行なう。予熱した炉には、次のような順序で計算量の装入材料を装入する。まず、合金の返り材(湯口、不良品及び流し湯)を装入し、続いて装入原料(アルミニウム、シリミン、マグネシウム)と母合金(中間合金)を装入する。

焼減りの大きい元素(マグネシウム、亜鉛)については、最後に装入する。このような装入順序では、溶湯が加熱されずに溶解が強化できる。その他にまた、合金成分の焼減りが削減され、合金の品質が向上する。

アルミニウム合金は容易に酸化する。アルミニウム合金の溶解過程では、溶湯表面にその後の酸化を防ぐ強固な酸化膜が形成されるため、溶湯の攪拌は望ましくない。この場合添加剤は、酸化膜を注意深く寄せて添加する。アルミニウム合金は、ガステに水素を強く吸収・溶解するため、鑄物にガス孔が形成しやすい。従って、すべての装入材料は乾燥した場所に保存し、装入に際して若干予熱することが望ましい。鉄心を備えた誘導炉は、粉碎磁器あるいはシャモット(50-55%)、チャッサヴィヤルスク産の耐火粘土(30-40%)及び粉末状重晶石もしくはほたる石(9-12%)から成る混合物でライニングする。酸化アルミニウムの成長を抑えるため、溝は黒鉛電極層で、あるいはライニング時に専用の黒鉛板を張って製作す

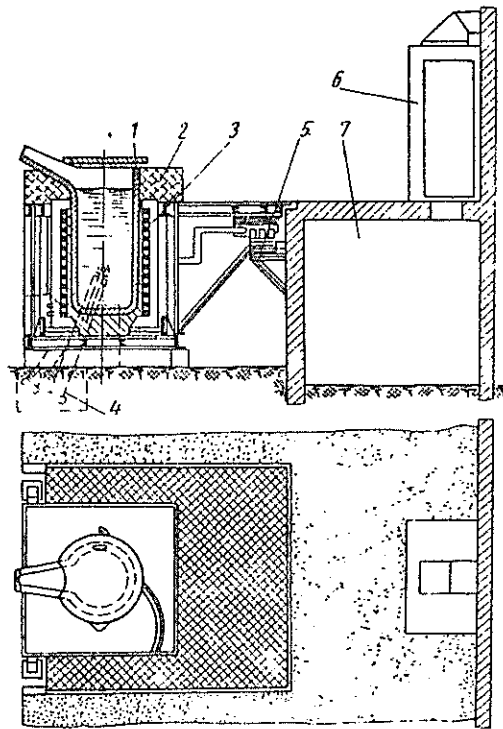


図184 軽合金溶解用の
るつぼ形低周波誘導炉

- 1-るつぼ 2-断熱材 3-誘導コイル
4-油圧傾動機 5-炉のコネクタ
6-制御盤 7-コンデンサ室

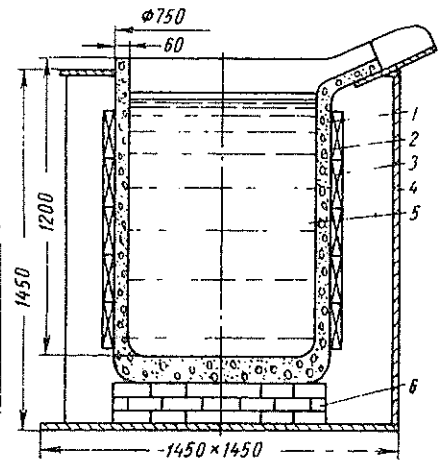


図185 コンクリート製のつぼを備
えたアルミニウム合金溶解用の誘導炉

- 1-コンクリート製のつぼ 2-マイ
カナイト 3-誘導コイル 4-支
持フレーム 5-溶湯 6-耐火物床

る。また巣と非金属介在物の形成を防止するため、溶融状態でアルミニウム合金に脱ガスと精練を施す。この場合は、塩素吹練が採用され、6塩化エタンまたは塩化塩（塩化亜鉛、塩化マンガン、塩化アルミニウム）で処理される。

塩は予め再溶解して脱水し、使用するまで120-150℃の電気乾燥室に保存する。5%以上のけい素を含有し、粗大組織を持つアルミニウム合金には、機械的性質特に塑性を向上させるため、接種（組織の人工的な微細化）を施す。インベストメント鑄造では、鋳型が高温（100~300℃）に加熱され、凝固プロセスが緩慢になるため、鑄物は粗晶組織及び比較的低い機械的性質を持つようになる。この場合溶湯の接種処理が特に重要になる。接種は、溶湯に少量のナトリウムを添加して行なう。このため、ナトリウムの塩化及び非化塩が用いられる。明らかなように、溶湯はまず精練され、その後に接種される。実験によれば、2元接種剤（34% NaCl + 66% NaF）もしくは3元接種剤（62.5% NaCl + 25% NaF + 12.5% KCl）で接種する際に溶湯に再びガス及び非金属介在物が侵入する。このような現象を防ぎ、溶解時間を短縮するため、溶湯の精練と接種を同時に行なう《汎用フラックス》（BH-45）が採用される。汎用フラックスは溶解して1.2-1.6wt% Al₂O₃の透明な溶体になり、6-12%のAl₂O₃を吸着し、塩化亜鉛よりも活発に溶湯を脱ガスする。

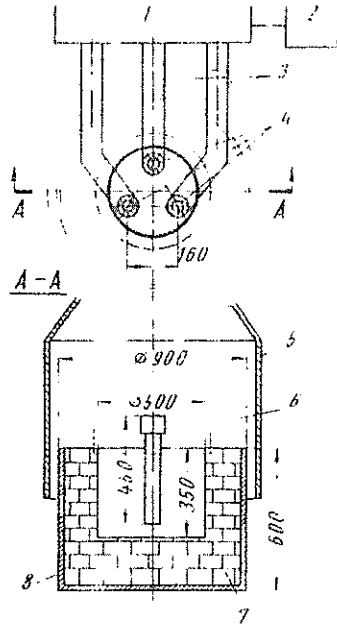


図186 BI-45汎用
フラックスの溶解用電気炉
1-380/24Vの3相変圧器
2-制御盤 3-ケーブル
4-黒鉛電極 5-排気フード
6-フードの窓 7-シャモット
れんがによるライニング 8
-鋼製の炉殻 b=5~6mm

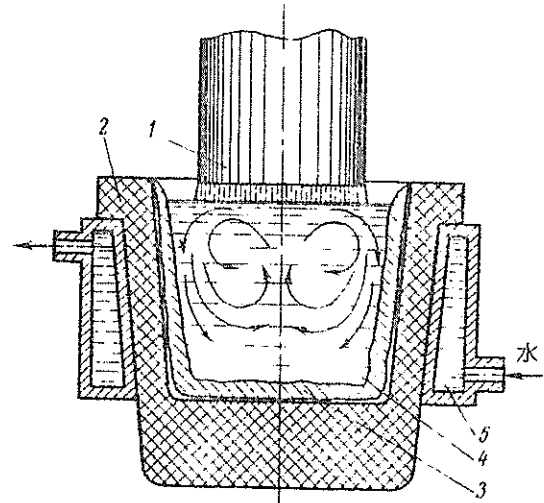


図187 消耗電極を備えたアークスカル炉
での溶解原理
1-消耗電極 2-黒鉛るつぼ 3-スカル
4-溶湯金属 5-水冷装置

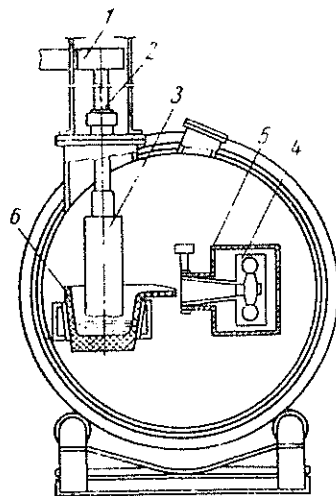


図188 チタンの総形鋳物の
鋳造用の回転炉
1-ケーブル 2-電極ホル
ダ 3-電極 4-鋳型
5-鋳型のジャケット
6-黒鉛るつぼ

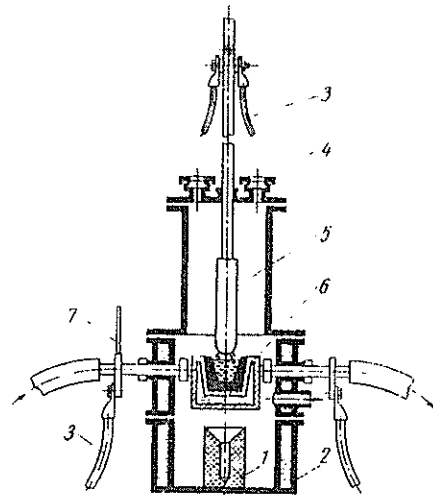


図189 るつぼ回転式のアークスカル炉
1-鋳型 2-炉室 3-ケーブル
4-のぞき窓 5-電極 6-るつ
ぼ 7-るつぼの回転機構

種々様々な鋳物はすべて同一の温度で鋳込まれないため、表 8 7 に示すような 3 種の汎用フラックスが採用される。

表 8 7 汎用フラックスの種類

フラックス	含有量, %				融点, °C	最低接種温度 °C
	弗化ナトリウム	塩化ナトリウム	塩化カリ	氷晶石		
№1	60	25	—	15	850	750
№2	40	45	—	15	780	730
№3	30	50	10	10	730	710

汎用フラックス（粉末状）による溶湯の精練と接種は次のように行なう。フラックスの成分内に入る塩を 200 - 250°C で 3 時間乾燥する。乾燥した塩は、表 8 7 に示した配合比でランナーミルまたはボールミルで混合して均質な混合物にする。得られたフラックスは、予め 250 - 300°C に加熱して取鍋に溶湯を注湯する際にそのジェットの中に 0.75 - 1.0 % 量だけ添加する。注湯終了から 2 - 4 分経過した後、溶湯を入念に浄化して鋳型に鋳込む。溶融状にすると、このフラックスの作用効果はさらに高くなる。フラックスの溶解には、集中加熱式の 3 相電気炉が採用される（図 1 8 6）。

溶融汎用フラックスによる精練と接種は次の順序で行なわれる。加熱したるつぼ内の少量の溶融金属層の上に定量の柄杓で溶融フラックス（溶湯重量に対して 0.3 - 0.5 % 量の）を加え、その上に溶湯を充填する。この場合フラックスが浮上し、溶湯内を通る間に溶湯と相互反応して脱ガス、精練及び接種が行なわれる。るつぼの充填後 3 分間溶湯を保持し、その後溶湯表面からフラックスを除き、溶湯を鋳込む。

チタン合金の溶解

チタンは酸素に対する親和力が大きく、空气中で加熱する際に窒化チタンを形成するため、チタンとその合金の溶解は真空中あるいは不活性ガス雰囲気中でのみ可能になる。

工業的には、2 種のチタン溶解法が採用されている。黒鉛るつぼを用いた誘導溶解と消耗または非消耗電極を用いたアーク溶解。

誘導溶解では黒鉛るつぼからチタン合金への炭素の浸透が生ずるため、一連の利点に拘らず、誘導溶解は余り広く採用されない。

チタンインゴットの精練に採用されている通常非消耗電極式アーク炉は総形鋳物の製作に適しない。現在では、消耗電極を備えたスカルアーク炉が最も広く普及している（図 1 8 7）。

このアーク炉では黒鉛るつぼ②が銅製の炉殻⑤を通る冷却水によって冷却される。この場合るつぼの内面の温度は、全溶解期間を通してるつぼ壁に厚さ 10 - 15 mm の未溶解チタン合金層（いわゆるスカル）③が形成するように調節される。スカルは、消耗電極①の溶解で形成した溶湯浴④とるつぼの接触を妨げ、従って溶湯への炭素の浸透を防止する。

チタン合金製の総形鋳物の製作には、消耗電極を備えた 2 種のスカル炉

(つまり炉が回転する方式とるつぼが回転する方式)が採用される。

図188は、回転式スカル炉の構造を示す。炉体は4個のガイドローラで支持され、ヒンジ結合されたその壁に黒鉛るつぼ⑥とジャケット⑤に収納された鑄型④が取付けられる。炉体には、蓋付きの垂直管が設けられ、その中に冷却電極ホルダ②が挿入される。消耗電極③は、総形鑄物に必要なチタン合金で鑄造または鍛造された棒材の形をとる。この場合溶湯の鑄込みは、鑄型と共に炉を90°C反転させて行なう。

図189は、るつぼが回転する方式のアークスカル炉を示す。

チタン合金またはその他の高融点合金の総形鑄物の鑄造には、数機種のアークスカル炉が工業的に生産されている。表88にこの種の炉の仕様を示す。その中のるつぼ回転方式の炉(OKB-956)を図190に示した。

消耗電極を備えたアークスカル炉による溶解法は一連の欠点(例えば、溶融金属の過熱と金属屑の再溶解が困難なこと、溶融金属の炉内保持が不可能なこと、等々)を有する。このため、真空スカル炉に別な熱源を利用する研究が進められている。現在、2種の電子銃(軸方向とラジアル方向の)を利用する方式が考えられている。この研究を基礎にしてチタン及び他の高融点金属を溶解するための新しいスカル炉が開発された。

表 8 8 真空アークスカル炉の仕様

パラメータ	OKB -956	OKB -934	OKB -1072	OKB -935	OKB -1007
溶解室の容量, kg	25:60	60	100	160	250
電流, A	14000	14000	14000	14000	25000
電圧, V	28-32	28-33	32	28-33	38-40
残留圧力, mmH	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻²	5・10 ⁻³
電極の最大寸法, mm					
長さ	500	500	650	500	485
直径	200	300	300	300	460
電極の設置数, pcs	1	5	1	5	4
鑄型の最大寸法, mm					
長さ(直径)	800	600	600	600	800
幅	—	600	600	600	800
高さ	500	400	600	500	1200
鑄型の設置数, psc	1	5	1	5	4
鑄型の回転速度, rpm	150-800	—	—	—	—
溶解速度, kg/min	5-8	6-8	3-6	6-8	10-15
単位電力消費量, KW・h/kg	7.4	3	2.3	1.7	2.5
サイクル時間, h	2:2.5	4	0.2	5.5	6.5
冷却水の流量, m ³ /h	25	38	40	38	45
炉の外形寸法, mm					
長さ	7400	1080	12000	10080	11350
幅	2800	5775	7560	5775	6750
高さ	5275	5845	6800	5845	5175
炉の重量, t	176	362	50	362	42

図191は、高融点金属鑄造用の832型スカル式電子ビーム溶解装置を示す。この溶解装置には、出力120KWの4個の軸方向の電子銃が備えられる。チタン溶解用のるつぼの容量は6ℓ。また遠隔制御糸が設置できる。

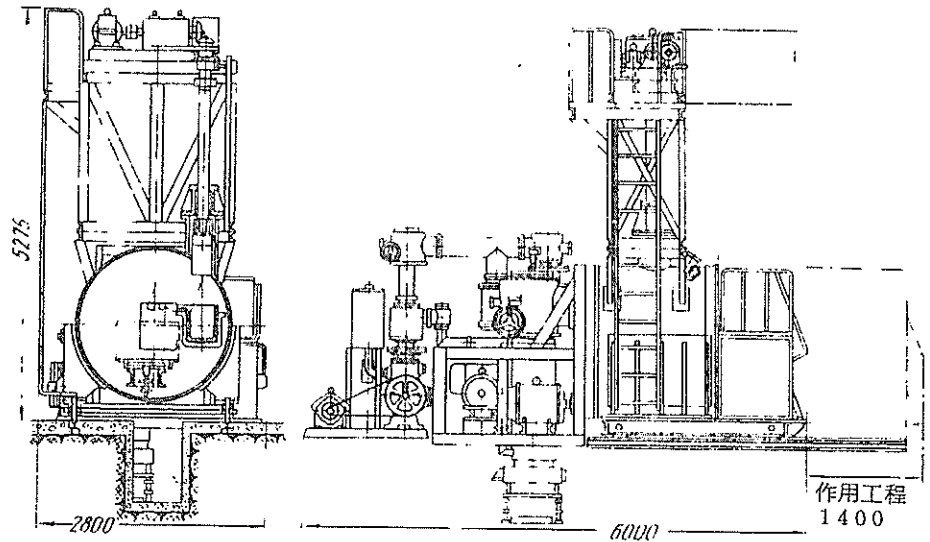


図190 OKB-956型アークスカル炉

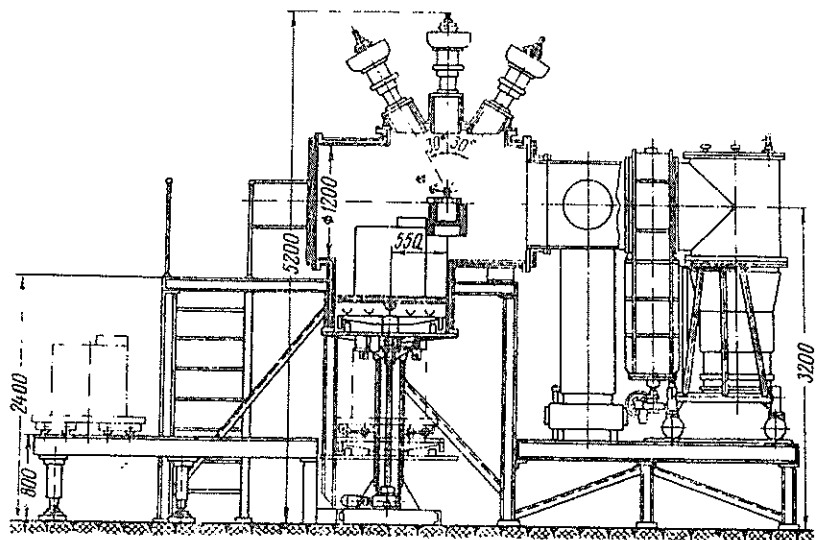


図191 4電子銃式の電子ビームスカル炉

電子ビーム溶解では、消耗電極式のアーク溶解と違って、塊状の装入材料（金属屑も含めて）を溶解し、固体装入物あるいは熔融金属に合金添加剤を添加して合金することができる。またこの場合は、必要な時間溶湯を保持し、必要な温度に溶湯を過熱することもできる。その他にまた、電子ビーム溶解では、溶湯表面上に直接高い真空が形成され、害的混入物が最大限に除去される。

図192は、ラジアル方向に回転式電子銃を備えたスカル炉の構造を示

す。このスカル炉では、るつぼの反転時に効果的に溶湯を保温することができる。

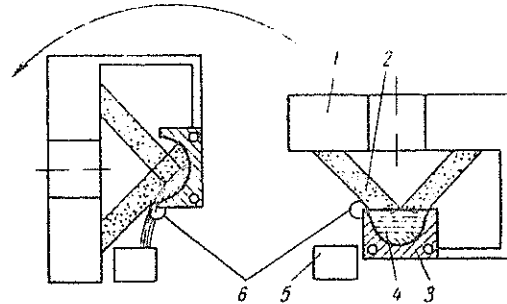


図192 反転式ラジアル電子銃を持つスカル炉

- 1—電子銃 2—電子ビーム
- 3—銅製のつぼ 4—溶融浴
- 5—鑄型 6—回転軸

電子熱源の大きい可能性に拘らず、その実用化には極めて大きい困難を伴う。電子ビーム溶解の実用化に関する研究と並んで、プラズマ溶解に対する新しい可能性が開かれた。

プラズマ加熱は、アーク加熱と電子ビーム加熱の利点を持つ。この場合10000°C以上の電気的に準中性の高電離ガスがプラズマと呼ばれる。プラズマをつくるため、ガス雰囲気中の電気放電が利用される。通常プラズマは、プラズマトーチのアーク放電によってつくられる。プラズマトーチは構造が簡単で熱源を良好に調節できる。ガスはプラズマトーチに入り、アーク放電を通して電離され、数1000°Cの温度になってノズルから出る。このようにして得られるプラズマは、チタンやその他の高融点金属のスカル溶解に利用される。

青銅の溶解

インベストメント鑄造用の青銅及びその他の銅合金は小容量のアーク炉または誘導炉で溶解される。

アーク炉では、炉の加熱と金属の溶解が自動昇降黒鉛電極でのアーク放電による熱輻射で行なわれる。

溶解前に、炉は入念に清浄され、800°Cまで加熱される。加熱された炉に溶湯の酸化を防ぐフラックスとして木炭粉が投入される。この場合木炭は、予め乾燥し、600°Cで焼成する。まず、銅素材を炉に装入し、溶解した後1/2量の燐化銅を添加して脱酸する。続いて、返り材(湯口、不良品、切削屑、流し湯、スクラップ)及び母合金を装入する。すべての装入物が溶解した後、1130-1190°Cまで加熱し、残りの1/2量の燐化銅で再び脱酸する。次に、若干加熱した(120-150°C)合金添加剤(亜鉛、錫、鉛など)を添加する。合金添加剤の添加後、溶湯を攪拌し、再び1130-1190°Cに加熱する。その溶湯をさらに1180-1230°Cまで加熱し、5-8分間炉内保持した後スラグを取除き、鑄型に鑄込む。この場合取鍋に燐化銅を添加し、溶湯を再び脱酸する。

脱酸用の燐化銅は、合金内の許容燐含有量を考慮して添加する。つまり、錫・燐青銅に対しては0.1%燐の割合で、燐を含まない錫青銅に対しては0.04-0.05%燐の割合で、またアルミニウム青銅に対しては0.01-0.02%燐の割合でそれぞれ添加する。

アーク炉でのアルミニウム青銅の溶解に当っては、溶湯を1200°C以

上に過熱してはならない。酸化と大きい焼減りを避けるため、アルミニウム青銅は、粉碎ガラス、木炭、ほう砂、氷晶石及び塩混合物（15%弗化ナトリウム、85%塩化ナトリウム）から成るフラックスを被せて溶解する。その他にまた、溶融アルミニウム青銅は、塩化マンガン（0.4%以下）を添加して、あるいは塩素で吹練する。

青銅や黄銅の溶解には、アーク炉の他に、鋼の溶解用と同様の高周波誘導炉も採用される。この場合、誘導コイルの中に黒鉛製のつぼが据えられ

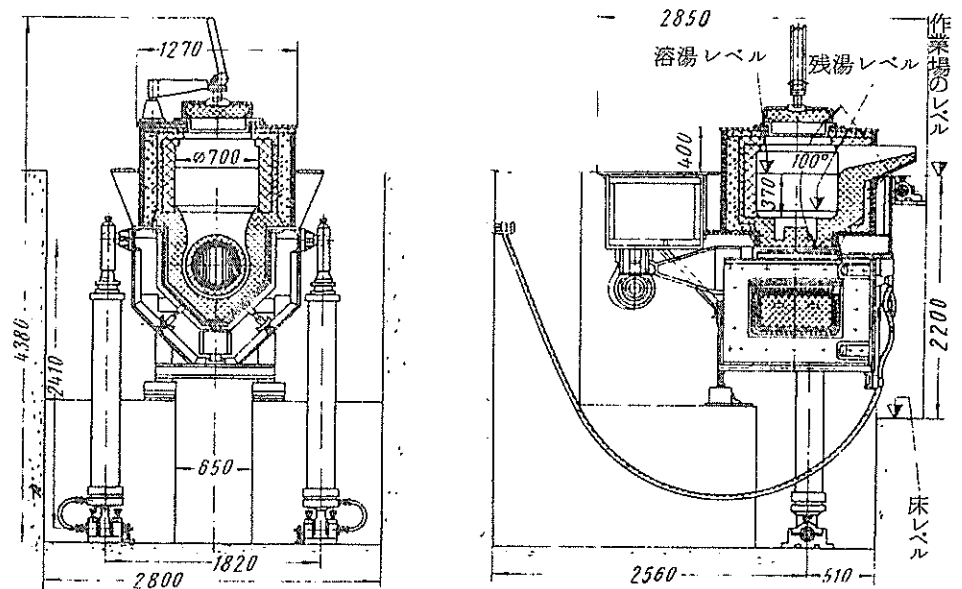


図193 銅合金溶解用のИЛО-0.75型誘導炉

る。電熱装置の製造工場では、黄銅及び他の銅合金用の鉄心を備えたИЛО-0.75型低周波誘導炉が生産されている（図193）。この炉の有効炉容は750 kgである。ИЛО-0.75型誘導炉の稼働原理と構造は、ИА-0.5型炉に同様である。これらの炉の特徴点は、短かい始動期間（5日以内）とライニングの高い耐久性（8000チャージ以上）にある。

金属試料 合金の化学成分は、すべての主要元素と有害混入物に対する分析によって決定される。

使用した装入材料の化学成分が不明確な場合は、配合成分の検査のため溶解時に迅速分析を行なう。

大部分の鋳物工場には、迅速分析用の実験室が付設されている。この実験室では、最も短かい時間（10-15分）内に補正を要する成分の分析が行なわれる。炭素鋼では炭素、けい素及びマンガンが、耐熱ニッケル合金ではアルミニウムとチタンが、またアルミニウム合金ではクロム、マンガン、マグネシウム、銅、鉄がそれぞれ分析対象になる。

迅速分析用の試料は、金属の完全溶解後に採取する。この場合試料の採取前に溶湯を全体にわたって入念に攪拌する必要がある。柄杓で試料を採

取して試験片用の専用の金型に注湯する。標準試験片の直径寸法は8-9mmにとる。試験片に刻印(チャージ番号)を打った後実験室に送る。

試料の採取に当っては、スラグを完全に取除き、成分データの歪みを防ぐ。

炭素と硫黄の含有量は化学分析法で決定され、残りの元素含有量は分光分析法で決定される。この分光分析法では、元素のスペクトル線に基づき標準試験片との比較で元素含有量を迅速に決定することができる。

分光分析には、定性分析用のスチロスコープ(styloscope)及び定量分析用の分光測光器が採用される。

溶解量が少ない場合には迅速分析は行なわない。

合金品質の検査のため、化学成分の検査の他に、一連の試験が行なわれる。脱酸とガス含有量の検査用の試料が最もよく採取される。この場合は、中子砂で製作した円筒形の鑄型あるいは鑄鉄製のカップに溶湯が鑄込まれる。仮に溶湯の脱酸が不完全で、多くのガスが含有すると、溶湯は冷却に際して泡立ち、体積が増加すると共に、凝固溶湯面が脹れる。このような試料の断面には、巣が明瞭に認められる。一方良好に脱酸されたガスを含まない溶湯は、静かに冷却・凝固し、正常な収縮を生ずる(凝固溶湯面が凹む)。この場合試料には緻密な脱酸金属が認められる。

溶湯温度の検査 溶湯温度の検査には、光学高温計ОППИР-45(ピロプロト)や熱電対が採用される。高融点金属に対しては光学高温計がよく用いられる。この場合は正確な実効温度が得られないが、熟練すればかなり良好なデータが得られる。光学高温計は電池を電源とする白熱ランプの形をとる。計器の対物レンズを熔融金属に向け、接眼レンズからランプのフィラメントを見る。この場合フィラメントがバックグラウンドよりも暗ければ、溶湯温度が所定値よりも高いことになる。反対にフィラメントの方が明るければ、溶湯温度が低いことになる。フィラメントが見えなくなったとき、溶湯温度は所定値に等しくなる。フィラメントの輝度はレオスタットで調節できる。検流計のスケールに温度の目盛りを付けると直接溶湯温度がわかる。

正確な溶湯温度の測定には各種の浸漬型熱電対が利用される。900°Cまではクロメル・アルメル熱電対が、1100°Cまでは白金・白金ロジウム熱電対が、また1800°Cまでの温度ではタングステンモリブデン熱電対がそれぞれ採用される。高融点金属用の浸漬型熱電対は、石英ケースで溶湯作用から保護する必要がある。

鑄型の鑄込み

取鍋からの鑄込み インベストメント鑄造では、鑄込みに当って100kg以下の容量の取鍋がよく利用される。取鍋容量が30kg以下の場合には手で鑄込む。また取鍋容量が大きい場合は、各種の補助装置が採用される。

非鉄合金の鑄込みには黒鉛るつぼが、また鋼や他の高融点金属の鑄込みには鋼製のライニングした取鍋が使用される。取鍋には開放形やどびん形が多い。取鍋の鋼製溶接ジャケット(鉄皮)には表89に示すようなライ

表 8 9 取鍋用ライニング材

材 料	配合量 wt %	材 料	配合量 wt %
I		II	
篩分したマグネサイト	92	耐火粘土	12
篩分した耐火粘土	6	マーシャライト	10
ほう酸	2	けい砂	76
密度 1.75 - 1.25 の水ガラスの 水溶液 (100%以上に)	8	ほう酸	2
		水 (100%以上に)	8

表 9 0 取鍋の寸法

容量, m ³	底部の直径, mm	上部の直径, mm	高さ, mm
~7	220	270	260
~11	260	300	310
~14	275	325	340
~18	290	340	340
~21	320	370	440

ニング材が内張りされる。

取鍋のライニングはゲージ板を用いて行なう。この場合ライニング方法は誘導炉のときと同様である。取鍋は1昼夜乾燥した後、ガスバーナまたは電気炉によって800-900℃の温度で1-2時間乾燥する。

溶湯の計量が必要な場合は、定量取鍋が採用される(表90)。

小物の鋳込みには通常の連台が採用される。連台は簡単で、操作も単純である。容量30kg以上の取鍋からの鋳込みに当っては、各種の電動式トローリ(単軌条式または2軌式の)が用いられる。この場合鋳込みは各種のコンベア上で行なわれる。取鍋の操作と溶湯ジェットの調節は簡単に行なうことができる。

真空中での鋳込み 既述のように、酸化膜を形成しやすい合金を真空炉で溶解するとき脱酸剤として炭素が使用される。しかしながら、炭素は、溶湯の酸化物に作用するだけでなく、るつぼのライニング(同様アルミニウム、マグネシウム及びその他の金属酸化物から成る)にもその作用を及ぼす。明らかなように、この場合はライニングの破壊が生じ、溶湯に混入してスラグの形で溶湯表面に浮上する。

真空炉では次の2つの方法で鋳込まれる。

1) スパウトを中心に炉を傾動させて下に配置した鋳型に鋳込む方法。

2) 炉と鋳型を同時に回転させて、スパウトに対して90°に配置した鋳型に鋳込む方法。

前者の鋳込み方法では、すべてのスラグが炉から鋳型に流入する。その他にまた、落下する溶湯ジェットによって鋳型が破壊することもある。このため、鋳物にのろかみなどの欠陥が発生しやすくなる。一方後者の鋳込み法では、落下溶湯ジェットがなく、のろかみによる鋳物欠陥が著しく小さくなる。

遠心鑄造 遠心鑄造法は、薄肉部への湯回りを容易にし、湯道系に対する溶湯消費量を削減し、緻密な金属、従って強固な鑄物をつくるが、インベ
ストメント鑄造には余り応用されない（鑄型の強度が比較的小さいため）。

しかしながら、流動性の自硬砂でバックアップすれば強度が比較的高くなり、遠心鑄造も可能になる。

遠心鑄造は、外周に薄肉部を有する回転体形状の大物部品（ノズル、ロータなど）を製作する際にその利点を十分に発揮する。

このため、加熱鑄型を据える回転テーブルと容量150ℓの溶解るつぼを備えた半連続式の真空鑄造装置が開発された。テーブルの回転機構は、炉の外に組立てられ、溶解と減圧の終了後鑄型を乗せたテーブルに連結したシャフトを回転させる。ここでるつぼが傾斜し、樋から溶湯が鑄型に鑄込まれる。

チタン合金用のスカル式真空鑄造装置でも同様にして遠心鑄造が行なわれる。

参考文献

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапов Е. К., Романовская Г. Я., Сокол И. Б. Оперативное управление производством типового цеха литья по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1967, № 1.
2. Аксенов П. Н. Некоторые вопросы теории машин литейного производства, М., Машгиз, 1962.
3. Антонов А. И., Цепенников В. И. Изготовление прессформ для выплавляемых моделей литьем под давлением. «Литейное производство», 1966, № 10.
4. Андрианов К. А. Кремнеорганические соединения. М., Госхимиздат, 1955.
5. Абрамсон И. Д. Керамика для авиационных изделий. М., Оборонгиз, 1963.
6. Автомобильные конструкционные стали. Справочник под редакцией А. П. Гуляева и И. С. Козловского. М., Машгиз, 1951.
7. Балакин И. Я. и др. Вибрационная очистка отливок. «Литейное производство», 1966, № 4.
8. Балакин И. Я. и др. Виброочистка отливок. «Литейное производство», 1968, № 9.
9. Баранов А. В. Усовершенствование формовки, прокатки и охлаждения форм при литье по выплавляемым моделям. Литейное производство. вып. 10, ГОСИТИ, Москва 1962.
10. Баранов А. В. Установка для дробеструйной очистки мелких отливок. Технический листок № 15. ЦБТИ МГСНХ, 1965.
11. Берг П. П. Влияние формы на качество отливки. Сб. «Взаимодействие литейной формы и отливки». АН СССР, 1962.
12. Берг П. П. Проверка качества отливок. Изд. 2-е. М., Машгиз, 1957.
13. Беспялый В. А., Гайдук В. В., Кулыгин Г. В. Оценка технологичности отливок по выплавляемым моделям, «Литейное производство», 1967, № 8.
14. Богданов М. Т., Гецов Л. Б. Литые турбинные лопатки. «Литейное производство», 1967, № 8.
15. Балкевич В. Л. Техническая керамика. Изд-во литературы по строительству. М., 1968.
16. Васильев В. А. Влияние физико-химического взаимодействия отливки с формой на чистоту поверхности отливки. Автореферат диссертации МВТУ им. Баумана, 1966.
17. Вейник А. И. Теория затвердевания отливки. М., «Машиностроение», 1960.
18. Вейник А. И. Расчет отливки. М., «Машиностроение», 1964.
19. Власенко Н. П. Вибрационная установка для снятия заусенцев и облоя с отливок из алюминиевых сплавов. «Литейное производство», 1967, № 4.
20. Волковинер Л. С. Пресс-формы из пластмасс. «Литейное производство», 1968, № 9.
21. Грубер Г. Плавка металлов электронным лучом. Пер. с нем. Изд-во иностр. лит., 1963.
22. Гуляев Б. Б. Проблема взаимодействия литейной формы и отливки. АН СССР. М., 1962.
23. Гуляев А. П. Термическая обработка стали. М., Машгиз, 1953.
24. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. Машгиз, 1960.
25. Дошкарж И. и коллектив. Точное литье в керамические формы. Пер. с чешского. М., Машгиз, 1962.
26. Есин О. А. и Гельд П. В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. 2. Металлургиздат, 1954.
27. Есьман Р. И. Взаимное влияние потоков энтропии, массы и объема питания отливки жидкой фазой. Сб. «Приложение теплофизики в литейном производстве». Минск, «Высшая школа», 1966.

28. Иванов В. Н. Брак и дефекты в литье по выплавляемым моделям. М., Машгиз, 1959.
29. Иванов В. Н. Исследование и разработка технологии изготовления огнеупорных форм для литья по выплавляемым моделям с этилсиликатным связующим без органических растворителей. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Всесоюзный заочный политехнический институт. Москва, 1968.
30. Иванов В. Н., Зарецкая Г. М. Гидролиз этилсиликата без органических растворителей. «Литейное производство», 1965, № 4.
31. Иванов В. Н., Баранов А. В. Окалинообразование и обуглероживание отливок, изготовленных литьем по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1961, № 3.
32. Изготовление форм из пластических масс на основе эпоксидных смол для выплавляемых моделей. Укроргстанкинпром, Харьков, 1965.
33. Исходные данные разработки проектного задания лабораторий, обслуживающих цехи литья по выплавляемым моделям. Руководящие технические материалы НИИТАвтопром, М., 1966.
34. Козлов А. В. Точное стальное литье по выплавляемым моделям. Машгиз, 1952.
35. Касаткин Г. Н., Шкленник Я. И. Расчет литниковых систем для тонкостенных протяженных отливок. «Литейное производство», 1966, № 11.
36. Каталог. Машины и оборудование для литья по выплавляемым моделям. НИИМАШ. Вып. 7. Москва 1967.
37. Кестнер О. Е., Барадзянец В. К. и др. Точное литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы. «Машиностроение», 1968.
38. Кинджери В. Д. Кинетика высокотемпературных процессов. Пер. с англ. М., «Металлургия», 1965.
39. Козлов И. Я., Уфимцев В. Д. Особенности термообработки литых сплавов для постоянных магнитов. Сб. «Термическая обработка и свойства литой стали». Труды всесоюзного совещания. М., Машгиз, 1955.
40. Кононов В. М., Силицын В. Ф. Повышение качества поверхности отливок из теплостойких сталей в точном литье по выплавляемым моделям. Сб. «Точное литье по выплавляемым моделям». ЦНИИТМАШ серия ОМ-11, М., 1964.
41. Кострицкий В. Ф. Применение этилсиликата при литье по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1969, № 9.
42. Контроль и методы исследований процессов литья по выплавляемым моделям, Материалы второго научно-технического совещания. НТО Машпром. Москва, 1967.
43. Кривенко И. Н. Связующее пексан и его применение. Сб. трудов семинара «Формовочные материалы для литья по выплавляемым моделям, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, Москва, 1960.
44. Королев В. М., Степанов В. М. Фасонное литье по выплавляемым моделям. Оборонгиз, 1962.
45. Крутянский М. М. и др. Применение плазменного нагрева. Энергия, 1964.
46. Куманин И. Б. Затвердевание отливок в разовых формах и образовании усачной пористости. Сб. «Вопросы теории литейных процессов». М., Машгиз, 1960.
47. Курчман Б. С. Точное литье по выплавляемым моделям. Оборонгиз, 1958.
48. Курчман Б. С., Зайченко Е. Н. Изготовление колес турбин и сопловых аппаратов автотракторных турбокомпрессоров. Автомобилестроение, ЦИНТИАМ. Москва, 1964.
49. Кустиков М. И. Зачистка литья под давлением. «Литейное производство», 1967, № 10.
50. Курбатов А. С., Таланкер Е. И. Получение точнолитых заготовок по выплавляемым моделям с применением новых связующих и наполнительных материалов. «Полимеры в литейном производстве». МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1969.
51. Лайнер А. И. и др. Способ получения основных солей алюминия. Авторское свидетельство № 223803. Бюллетень изобретений № 25, 1968.
52. Лакеев А. С. Экономичные модельные композиции типа ИПЛ для литья по выплавляемым моделям. Институт проблем литья АН УССР. Киев, 1969.
53. Лакеев А. С. Исследование структурно-механических свойств модельных композиций для литья по выплавляемым моделям. Сб. «Теория и практика процессов литья» Институт проблем литья АН УССР. Киев, 1969.
54. Лапкин Д. Т. и др. О взаимодействии стали с формой при литье по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1963, № 11.
55. Лебедева В. Г., Ушатов Н. А. Электрохимическая очистка отливок. «Литейное производство», 1964, № 11.
56. Литье по выплавляемым моделям РТМ 24-61. Стандартгиз, 1962.

57. Литье по выплавляемым моделям в мелкосерийном производстве (Труды конференции). НИИМАШ. М., 1966.
58. Литье по выплавляемым моделям. Инженерная монография под редакцией Я. И. Шкленника и В. А. Озерова. М., Машгиз, 1961.
59. Лихачев А. С. и др. Установка для нанесения огнеупорного покрытия на выплавляемые модели. Авторское свидетельство № 162301, 1964.
60. Львов В. М. Механизация и автоматизация литья по выплавляемым моделям. Сб. трудов конференции МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1964.
61. Матусевич И. С. и др. Основные азотокислые соли алюминия как связующие материалы для изготовления бескремнеземных форм. «Литейное производство», 1966, № 4.
62. Матусевич И. С., Крестовников А. Н., Шкленник Я. И. Взаимодействие титана с огнеупорными окислами формы. «Литейное производство», 1968, № 10.
63. Metallurgические печи. Под ред. М. А. Глинкова. «Металлургия», 1963.
64. Минкевич Н. А. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., Машгиз, 1965.
65. Моисеев А. Г., Черепанов Н. Х., Перевозкин Ю. Л. Унифицированные модельные составы Р-2 и Р-3. НИИМАШ, Москва, 1966.
66. Небогатов Ю. Е., Тамаровский В. И. Специальные виды литья. М., «Машиностроение», 1965.
67. Неуструев А. А., Ходоровский Г. Л. Вакуумные гарниссажные печи. «Металлургия», 1967.
68. Нехендзи Ю. А., Богданов М. Т. Методы заливки образцов для контроля механических свойств отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1960, № 2.
69. Никольский Г. Н. Классификация, условные обозначения и методы оценки неровностей литых поверхностей. Сб. «Точность отливок». М., Машгиз, 1960.
70. Нормалы машиностроения МН-4300-63-МН-4311-63. Формы для выплавляемых моделей. М., Стандартгиз, 1964.
71. Оболенцев Ф. Д. Качество литых поверхностей. Л., Машгиз, 1961.
72. Озеров В. А., Муркина А. С. Перспективы применения этилсиликата 50 в производстве точных отливок. Сб. «Полимеры в литейном производстве». МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1969.
73. Озеров В. А. Нормализация литниково-питающих систем для литья по выплавляемым моделям. Сборник трудов МАТИ. «Вопросы технологии литейного производства». Оборонгиз, 1963.
74. Озеров В. А., Сакодынский К. И., Шприц Б. Б. и др. Процессы изготовления оболочек формы с применением этилсиликата 40 при литье по выплавляемым моделям. «Литейное производство» № 2, 1970.
75. Озеров В. А., Шуляк В. С., Плотников Г. А. Литье по моделям из пенополистирола. М., «Машиностроение», 1970.
76. Озеров В. А. Исследование влияния технологических факторов на качество отливок, изготавливаемых по выплавляемым моделям. «Технология литейного производства». Сборник трудов кафедры литейного производства МВТУ им. Баумана. М., Машгиз, 1956.
77. Озеров В. А., Солдатенкова А. С. Исследование оболочек форм, изготовленных с применением связующего пэксан. Сборник материалов семинара, «Развитие технологии литья по выплавляемым моделям» МДНТП им. Дзержинского. 1963.
78. Озеров В. А., Фельдман С. С., Шкленник Я. И. Литье по выплавляемым моделям. М., Машгиз, 1958.
79. Орлова А. И. Раствор для очистки от керамики отливок. Авторское свидетельство № 194276.7.06.67.
80. Оптовые цены на отливки, изготавливаемые методом литья по выплавляемым моделям и литья под давлением. Прейскурант 25.01.1966.
81. Общемашиностроительные нормативы времени на литейные работы при литье по выплавляемым моделям. Центральное бюро промышленных нормативов по труду, Москва, 1967.
82. Прохоров Н. М. Пригар при литье по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1966, № 2.
83. Перевозкин Ю. Л., Шкленник Я. И. Алюмосиликатное связующее при литье по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1969, № 4.
84. Поляков Я. Г. Современные тенденции в зарубежной литейной технологии. Литье по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1964, № 4.
85. Прохоров Н. М., Печковский В. В. Исследование керамических форм для точного литья. «Литейное производство», 1964, № 5.

87. Ростовцев С. Т. Теория металлургических процессов. «Металлургия», 1956.
88. Сателъ Э. А. Основы организации планирования машиностроительных предприятий СССР. М., Машгиз, 1957.
89. Соболев Л. Н., Сосаев В. Н. Конвейер для изготовления легкоплавких моделей. «Литейное производство», 1965, № 9.
90. Сокол И. Б. Автоматическая линия точного литья по выплавляемым моделям. «Автомобильная промышленность», 1965, № 8.
91. Семененко А. А. Определение полноты гидролиза этилсиликата. «Литейное производство», 1968, № 11.
92. Сладкова М. В., Антонов А. К., Чумаков В. А. Оболочковые формы из циркона и смеси циркона с двуокисью титана для литья по выплавляемым моделям в вакуумных и открытых печах. «Литейное производство», 1964, № 8.
93. Скаженник В. А., Шур В. А. Сушка в кипящем слое огнеупорных покрытий по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1965, № 5.
94. Тагер А. А., Мышалов С. В., Краснова Г. С. Об основах литья по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1964, № 1.
95. Тагер А. А. Об основах литья по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1963, № 9.
96. Тагер А. А. и др. Об основах литья по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1964, № 9.
97. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали, Metallurgizdat, 1962.
98. Таланкер Е. И. Новые технологические процессы литья по выплавляемым моделям в станкостроении. НИИМАШ, сер. С-Х-2, 1968.
99. Танклевский И. Г. Очистка отливок в щелочных ваннах. «Литейное производство», 1965, № 2.
100. Телис М. Я. Плавка цветных металлов и сплавов. «Высшая школа», 1964.
101. Телис М. Я., Ларин В. С. Темные пятна на отливках из нержавеющей стали по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1967, № 8.
102. Ткаченко К. М., Ровнова В. Д. Формовочные материалы для литья по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1963, № 10.
103. Тучкевич Н. М., Петрова В. С. Литые образцы для контроля механических свойств точного литья. «Литейное производство», 1958, № 9.
104. Халдей М. А., Екимов П. А. Отрезка отливок от стояков анодно-механическим способом. «Литейное производство», 1968, № 12.
105. Харлан Г. Д. Применение электрогидравлического эффекта для выбивки литья. «Технология и организация производства. Научно-производственный сборник», 1966, № 2.
106. Хенкин М. Л., Бизин А. А., Оболенский В. И., Абрамов В. И. Повышение точности отливок по выплавляемым моделям в условиях мелкосерийного производства. «Литейное производство», 1964, № 6.
107. Цветное литье. Инженерная монография под редакцией И. Ф. Колобнева. М., «Машиностроение», 1966.
108. Черников В. А. и др. Усовершенствованный технологический процесс производства литья по выплавляемым моделям. НИИТМ Барнаул, 1969.
109. Шагеев З. А. Усовершенствование модельных сплавов. «Развитие технологии литья по выплавляемым моделям» МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1963.
110. Шкленник Я. И., Матусевич И. С. Способ изготовления форм и стержней из окислов высокоогнеупорных материалов при литье химически активных металлов. Авторское свидетельство № 162299, 14 февраля 1964.
111. Шкленник Я. И. и др. Этилсиликат 40. «Литейное производство», 1969, № 5.
112. Шкленник Я. И., Карепин Л. П., Касторной Н. А. Некоторые свойства связующих растворов оксинитрата алюминия. «Литейное производство», 1968, № 4.
113. Шкленник Я. И. Повышение качества отливок по выплавляемым моделям. «Литейное производство», 1968, № 11.
114. Шкленник Я. И. и др. Корундовые бескремнеземистые стержни. Сб. трудов 23-й Всесоюзной конференции литейщиков, 1968.
115. Шкленник Я. И. К вопросу о сушке оболочек на блоках выплавляемых моделей. Сб. «Тепловая обработка оболочковых форм при литье по выплавляемым моделям», № 1, МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, Москва, 1961.
116. Шмыков А. А. Справочник термиста. М., Машгиз, 1956.
117. Шуб И. Е., Сорокин Л. В. Точное литье по выплавляемым моделям. Издание второе, «Машиностроение», 1968.
118. Шур В. А., Колесник К. Т., Кошута Л. А. Совмещенный метод приготовления суспензии. «Литейное производство», 1964, № 1.
119. Эйтель В. Физическая химия силикатов. Перевод с англ. Изд-во иностр. лит. 1962.

インベストメント鑄造法

昭和 48 年 2 月 1 日 発行

無断転載複製
を禁ずる

翻 訳 社団法人 鑄造技術普及協会
発行者 三 島 徳 七
発行所 社団法人 鑄造技術普及協会
東京都中央区銀座 5 丁目 9 番 13 号 中村ビル
〒104 電 話 (03) 572-6824

頒 価 33,000円 (予約の場合 27,000円)

