

Processos de Fabricação I



Alexandre Kourbatov
Universidade Eduardo Mondlane
Maputo 2011

Fundição

Literatura recomendada:

Titov N.D., Stepanov Yu.A. Tecnologia de Processo de Fundição.

Clipes de diferentes métodos de fundição:

Fundição em areia Parte 1

<http://www.youtube.com/watch?v=UOgR0D22V4E>

Fundição em areia Parte 2

<http://www.youtube.com/watch?v=dWE7dhMglil>

Fundição em cera perdida

<http://www.youtube.com/watch?v=NVOPO-WN99w>

http://www.youtube.com/watch?v=PfB_KE5xGUA

Fundição em casca (carapaça)

<http://www.youtube.com/watch?v=hAHj2MoSBYs>

Fundição em coquilha

<http://www.youtube.com/watch?v=civX1IQeK0g>

Fundição sob pressão

<http://www.youtube.com/watch?v=xGrgx7J1IEI>

Fundição centrífuga

http://www.youtube.com/watch?v=3qKGx_AxHp0

Linha automática de fundição sob pressão

http://www.youtube.com/watch?v=KI9_LqnTYos&feature=related

Produção do molde

<http://www.youtube.com/watch?v=oEWk9UmeXnA>

Minha proposta de Negócio na Internet!

Eu procuro os parceiros com quem vamos fazer o Negócio na Internet. Precisa o acesso a internet, 3-4 h/dia e um investimento financeiro.

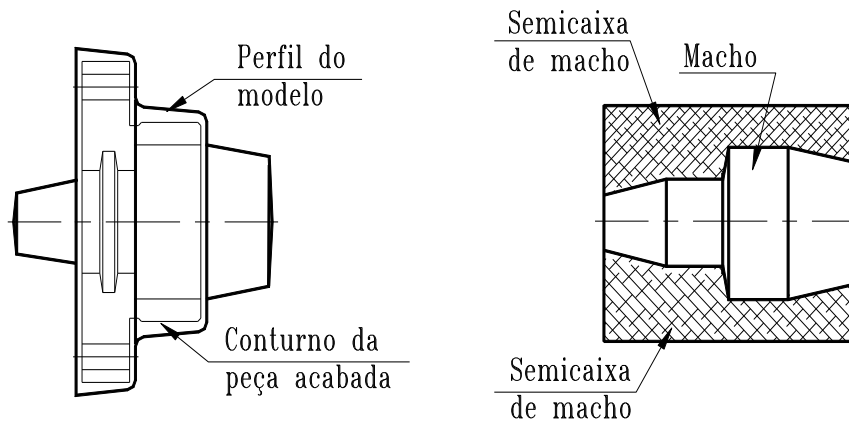
Vou ensinar tudo o que seja necessário. O negócio na Internet tem grande perspectiva, permite ficar financeiramente independente dentro dum tempo.

Vejam o clipe <http://b21v.ru/pt/?p=39> e contactam comigo pelo Skype alexandre.kourbatov

* Agradeço o Eng.º Amilcar Ramo Domingos para ajuda na recolha de alguns dados de fundição.

Nações gerais de fundição

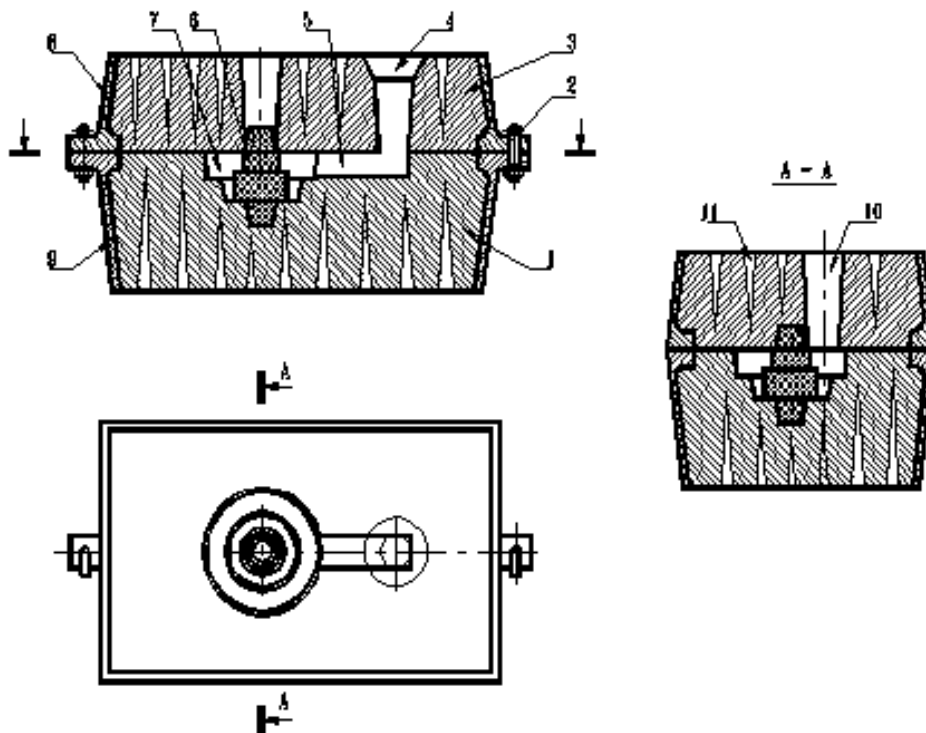
As peças brutas volumétricas, mais ou menos complexas, de materiais fundíveis fabricam-se por meio de fundição. A fundição é o método de vazamento do material fundido numa cavidade de molde que é parecida à peça bruta. A peça bruta tem geralmente a configuração mais simples de que a peça acabada, sem furos pequenos, sem chanfros, ranhuras, etc. (veja figura em baixo). As dimensões externas da peça bruta que precisam o tratamento posterior têm os valores maiores de que peça acabada e as dimensões internas – menores em valor de sobreespessura (geralmente de alguns mm). As superfícies internas (furos, etc.) recebem através de machos.



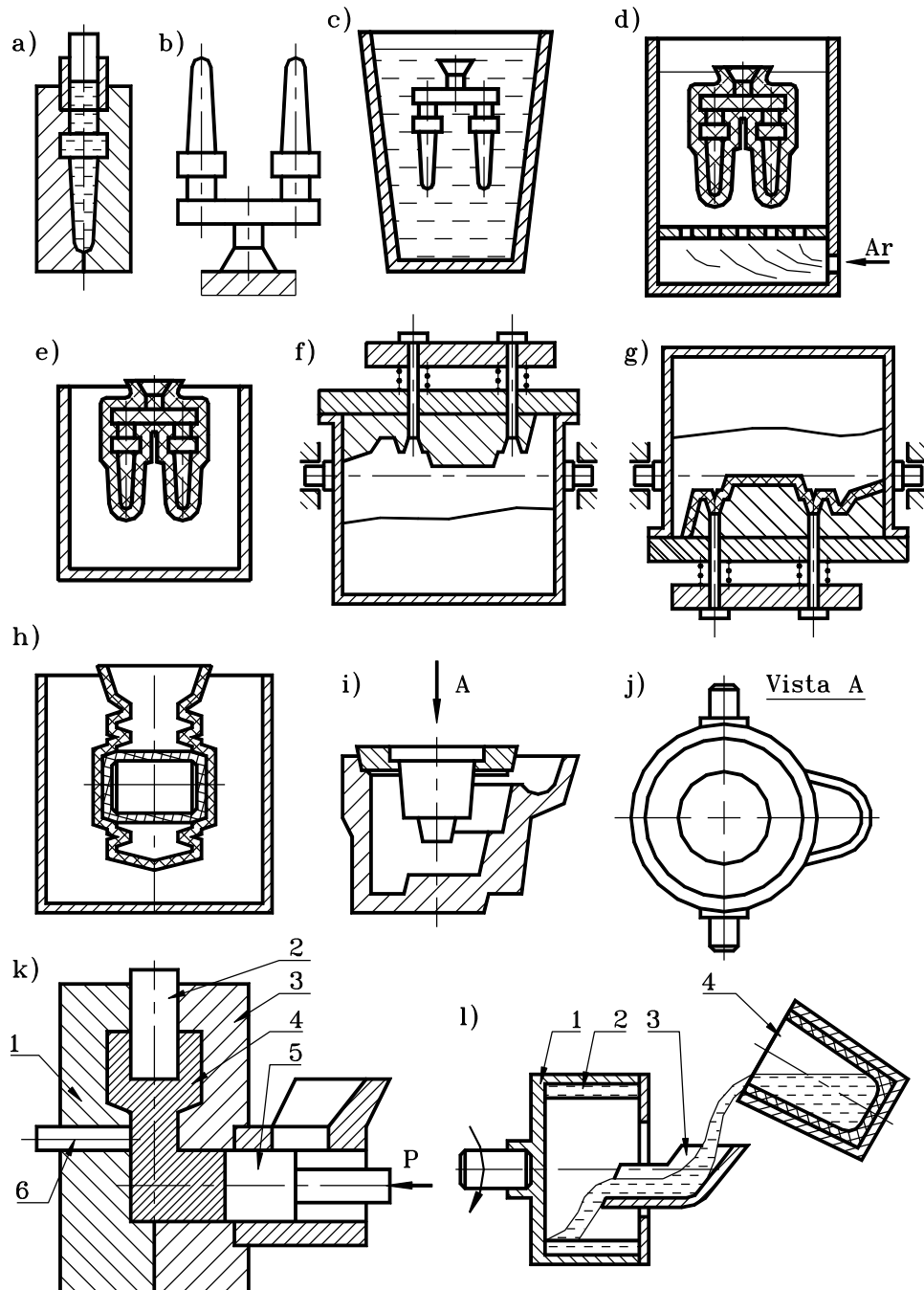
Métodos de fundição

Existem seguintes métodos de fundição:

1. Fundição em areia;



2. Fundição em cera perdida (Figura a - e);
3. Fundição em molde de casca (Figura f - h);
4. Fundição em moldes metálicos (Figura i, j);
5. Fundição sob pressão (Figura k);
6. Fundição centrífuga (Figura l), etc.

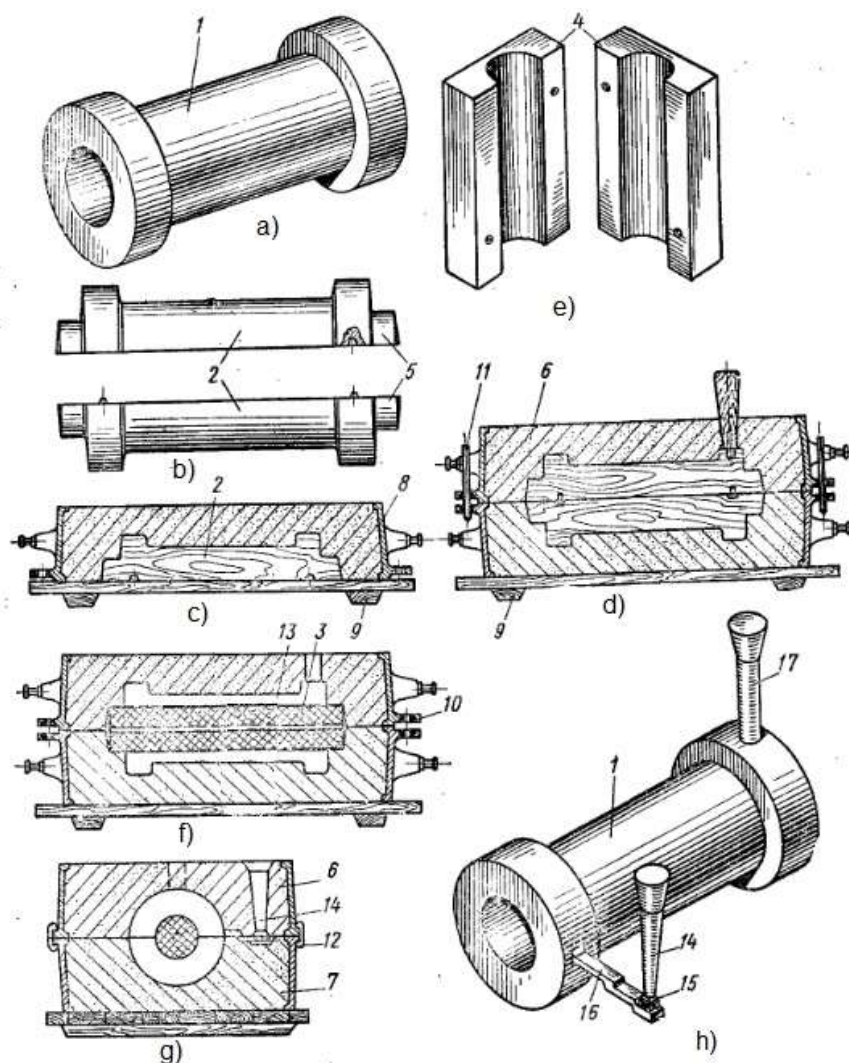


O método de fundição mais usado é em areia pois pode ser utilizado para peças pequenas e grandes, dos materiais diversos (ferrosos e não ferrosos), em diferentes tipos de produção (unitário, em série ou em massa). Outros tipos de fundição utilizam-se principalmente para peças pequenas e médias, para produção em série média, grande e em massa.

No caso de fundição em areia no início fabrica-se o modelo da peça bruta de madeira ou metálico. O modelo de madeira utiliza-se na produção unitária e em série pequena, o modelo metálico - na produção de série grande ou em massa. O modelo é parecido à peça bruta, mas tem dimensões maiores no valor de contracção do material. Além disso no caso de uso dos machos para formar as superfícies internas, o modelo em vez das superfícies internas tem prensos que criam no molde as cavidades para alojamento do macho.

Então, a diferença entre as dimensões da peça acabada e do modelo é igual a soma de sobreespesas necessárias para tratamento mecânico posterior, do valor de contracção do material (pois no processo de arrefecimento do esboço diminuem-se suas dimensões) e a espessura ligada com inclinação das superfícies laterais e raios transitórios entre as superfícies. Estes últimos são necessários para facilitar a extracção do modelo de molde de areia e para diminuir as tensões internas que se formam nos sítios de transição de uma superfície para outra. Todos os estes parâmetros determinam-se segundo as recomendações correspondentes de compêndios.

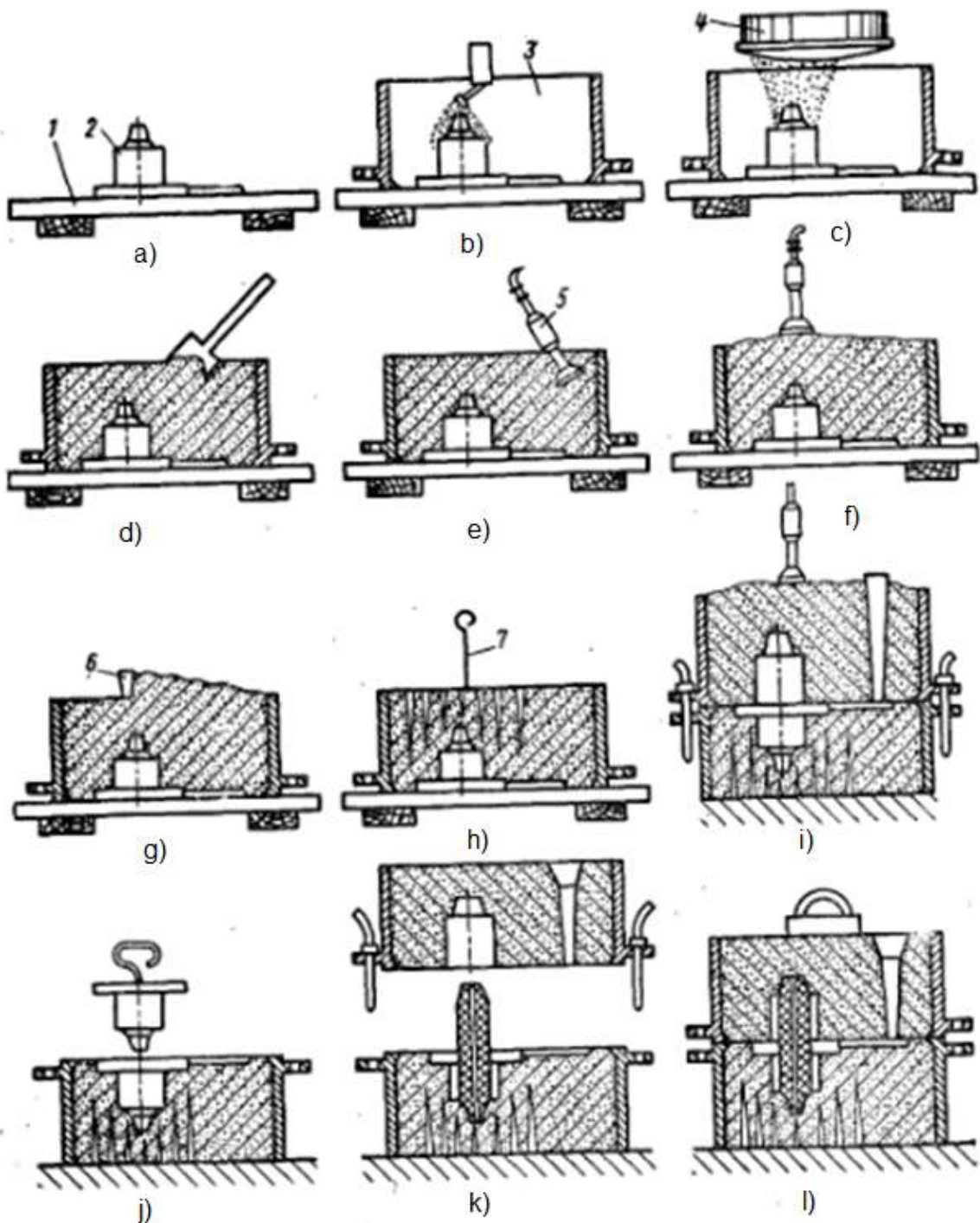
Bastante frequentemente o modelo faz-se de duas e mais partes, pois no caso contrário será impossível extrai-lo do molde.



Comparação do custo das peças fundidas de diferentes materiais

Material	Preço relativo
Ferro fundido cinzento	1
Ferro fundido esferoidal	1,1÷1,3
Ferro fundido maleável	1,2'1,5
Aço sem liga	1,5÷2
Aço de liga rica	6÷8
Ligas de cobre	6÷8
Ligas de alumínio e magnésio	8÷10

Seqüência de moldação de areia (execução do molde)



Precisão, rugosidade e profundidade da camada defeituosa a atingir economicamente

Método de tratamento	Grau de tolerância	Rugosidade R_z μm	Camada defeituosa h , μm
1. Laminagem a quente de precisão comum com o diâmetro / espessura da peça ate' 25 mm > 25 a 75 mm > 75 a 150 mm > 150 a 250 mm	14-15	150-200	150-250
	14-15	150-200	250-300
	14-15	200-300	300-400
	14-15	300-350	400-450
2. Laminagem a quente de precisão elevada com o diâmetro / espessura da peça ate' 25 mm > 25 a 75 mm > 75 a 150 mm > 150 a 250 mm	12-13	100-150	100-150
	12-13	100-150	150-200
	12-13	150-250	200-300
	12-13	250-300	300-350
3. Laminagem a frio de chapas	10-12	10-80	20-100
4. Trifilação a frio	11-12	20-80	30-100
5. Fundição em areia, moldação manual	16-17	100-500	200-600
6. Fundição em areia, moldação de máquina, modelo de madeira ou em molde de cimento, tijolo, etc. a) com dimensões da peça ate' 1250 mm - de ferro fundido - de aço de fundição - de liga não ferrosa b) com dimensões de 1250 a 3150 mm - de ferro fundido - de aço de fundição			
	14-16	200-300	400-500
	14-16	150-200	300-400
	14-16	80-150	250-350
	15-17	300-400	400-600
	15-17	200-300	400-500
7. Fundição em areia, moldação de máquina, modelo metálico ou em molde de macho a) com dimensões da peça ate' 1250 mm - de ferro fundido - de aço de fundição - de liga não ferrosa b) com dimensões de 1250 a 3150 mm - de ferro fundido - de aço de fundição			
	12-14	150-200	300-400
	12-14	100-150	250-350
	12-14	40-100	200-300
	12-16	200-300	400-500
	12-16	200-250	350-450
8. Fundição em molde metálico ou centrífuga - de ferro fundido - de aço de fundição - de liga não ferrosa			
	12-16	150-200	250-300
	12-16	100-150	150-200
8. Fundição em molde de casca - de ferro fundido - de aço de fundição - de liga não ferrosa			
	12-14	60-80	200-260
	12-14	40-60	160-200
10. Fundição em cera perdida - de ferro fundido - de aço de fundição - de liga não ferrosa			
	11-14	40-80	120-170
	11-14	20-60	80-120
11. Fundição sob pressão da liga não ferrosa			
	9-14	10-40	80-150

Continuação

Método de tratamento	Grau de tolerância	Rugosidade R_z μm	Camada defeituosa h, μm
12. Forjadura a martelo ou a prensa com o diâmetro da peça até 30 mm de 30 a 50 de 50 a 80 de 80 a 120	16-17	200-300	300-500
	16-17	300-400	500-800
	16-17	400-500	800-1200
	16-17	500-600	1200-1500
13. Estampagem a quente com massa da peça até 0,25 kg > 0,25 a 4 > 4 a 25 > 25 a 40 > 40 a 100 > 100 a 400	12-14	80-160	150-200
	12-14	160-240	200-250
	12-14	240-300	250-300
	12-14	300-350	300-350
	12-14	350-400	350-400
	12-14	400-500	400-500
14. Estampagem ou laminagem com calibração	10-12	10-80	10-80
15. Recalcamento a frio	9-12	5-40	5-40
16. Estampagem a frio	9-14	10-40	10-40
17. Torneamento, alisagem, fresagem, aplainamento, limagem de desbastamento de semiacabamento de acabamento de acabamento fino	12-14	60-240	80-240
	11-12	20-120	40-120
	10-11	10-40	10-40
	8-9	2-6	5-20
18. Brocagem comum (valores menores para as dimensões menores Broqueamento (alargamento com broca)	11-13	20-80	40-100
	9-12	3-20	15-40
19. Brocagem profunda	11-12	15-30	25-50
20. Alargamento (com alargador) de desbastamento de acabamento de acabamento fino	12-13	40-50	40-50
	10-11	10-30	30-40
	8-10	1,5-10	20-30
21. Mandrilagem de desbastamento de acabamento de acabamento fino	9-10	10-20	15-25
	7-8	1,5-6	5-10
	6-7	0,5-3	5-10
22. Brocheamento de desbastamento de acabamento	8-9	6-10	10-20
	6-8	2-6	5-10
23. Rectificação de desbastamento de acabamento de acabamento fino	9-10	10-20	10-50
	7-8	5-10	10-25
	5-6	0,5-3,5	5-10
24. Brunidura	5-6	0,5-3	3-6
25. Superacabamento	-	0,2-0,8	3-5
26. Esmerilhagem de desbastamento de acabamento	5-6	0,5-3	3-5
	1-4	0,02-0,4	3-5
27. Polimento	-	0,02-0,4	2-3

Escolha do tipo de produção

Tipo de produção	Programa mensal de fabricação dos produtos			Dias de trab./mês
	grandes, complexos	médios	pequenos, simples	
Produção unitária	1 - 2	2 - 5	5 - 10	<0,5
Em série pequena	2 - 5	5 - 25	10 - 50	0,5÷1
Em série média	2 - 25	25 - 150	50 - 300	1÷2
Em série grande	25 - 150	150 - 300	300 - 1000	2÷12
Em massa	> 150	> 300	> 1000	12÷30

Escolha do método de fundição

Condições de produção	Em areia, modelo de madeira, moldação manual	Em areia, modelo de madeira, moldação mecanizada	Em areia, modelo metálico, moldação mecanizada	Em areia, modelo metálico, moldação automatizada	Em areia, modelo metálico, moldação automática	Em casca (carapaça)	Em cera perdida	Em coquilha (molde metálica)	Centrífuga (molde metálica)	Sob pressão (molde metálica)
Tipo de produção										
Unitária	+	+								
Série pequena		+	+			+				
Série média			+	+		+	+	+	+	
Série grande				+	+	+	+	+	+	+
Em massa				+	+		+			+
Material da peça a fundir										
Aço	+	+	+	+	+	+	+			
Ferros fundidos	+	+	+	+	+	+	+			
Ligas Al	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ligas Mg	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ligas Cu	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Plásticos						+	+	+	+	+
Tamanho da peça										
Pequena, até 0,5 m	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M'édia, 0,5-1 (1,5) m	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Grande, > 1,5 (2) m	+	+	+	+						

Há de escolher o método que serve para tipo de produção dado, material e tamanho da peça dada e que garante menores custos de produção e produtividade correspondente. Com sinal + estão marcados os métodos possíveis para condições dadas.

Escolha da forma e dimensionamento das peças brutas

A escolha faz-se em função do coeficiente de uso do material ($K_{um} = V_{pa}/V_{pb}$), forma, dimensões, qualidade e material da peça acabada, do tipo de produção, das sobreespessuras para tratamento posterior.

As sobreespessuras de usinagem para fundição em areia das peças dos ferros fundidos da I, II e III classe de precisão

Gabarite máximo, mm	Disposição da superfície durante vazamento	Dimensão nominal, mm								
		<= 50		> 50 <= 120			> 120 <= 260			
		I	II	I	II	III	I	II	III	
<= 120	Em cima	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5	—	—	—	
	Em baixo e de lado	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5	—	—	—	
121—260	Em cima	2,5	4,0	3,0	4,5	5,0	3,0	5,0	5,5	
	Em baixo e de lado	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	2,5	4,0	4,5	
261—500	Em cima	3,5	4,5	3,5	5,0	6,0	4,0	6,0	7,0	
	Em baixo e de lado	2,5	3,5	3,0	4,0	4,5	3,5	4,5	5,0	
501—800	Em cima	4,5	5,0	4,5	6,0	7,0	5,0	6,5	7,0	
	Em baixo e de lado	3,5	4,0	3,5	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0	
801—1250	Em cima	5,0	6,0	5,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0	
	Em baixo e de lado	3,5	4,0	4,0	5,0	5,5	4,5	5,0	6,0	
1251—2000	Em cima	5,5	7,0	6,0	7,5	8,0	6,5	8,0	8,0	
	Em baixo e de lado	4,0	4,5	4,5	5,0	6,0	4,5	5,5	6,0	
2001—3150	Em cima	6,0	7,0	6,5	7,5	9,0	6,5	8,0	9,0	
	Em baixo e de lado	4,0	5,0	4,5	5,0	7,0	4,5	5,5	7,0	
3151—5000	Em cima	6,0	7,5	6,5	7,5	9,0	7,0	8,0	10,0	
	Em baixo e de lado	4,5	5,5	5,0	5,5	7,0	5,0	6,0	8,0	
5001—6300	Em cima	—	7,5	—	8,0	9,0	—	8,5	10,0	
	Em baixo e de lado	—	5,5	—	6,0	7,0	—	6,5	8,0	
6301—10 000	Em cima	—	—	—	—	9,0	—	—	10,0	
	Em baixo e de lado	—	—	—	—	7,0	—	—	8,0	

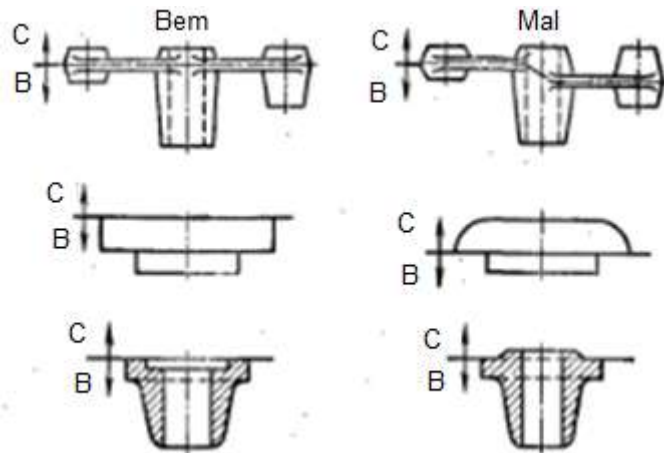
As sobreespessuras de usinagem para fundição em areia das peças dos aços fundidos da I, II e III classe de precisão

Gabarite máximo, mm	Disposição da superfície durante vazamento	Dimensão nominal, mm								
		≥ 120			> 120 260			260 500		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
≤ 120	Em cima	3,5	4,0	5,0	—	—	—	—	—	—
	Em baixo, ao lado	3,0	4,0	4,0	—	—	—	—	—	—
121—260	Em cima	4,0	5,0	5,0	4,0	6,0	6,0	—	—	—
	Em baixo, ao lado	3,0	4,0	4,0	3,5	4,0	5,0	—	—	—
261—500	Em cima	5,0	6,0	6,0	5,0	7,0	8,0	6,0	7,0	9,0
	Em baixo, ao lado	3,0	5,0	5,0	4,0	5,0	6,0	4,0	6,0	6,0
501—800	Em cima	5,0	7,0	7,0	6,0	8,0	8,0	7,0	9,0	10,0
	Em baixo, ao lado	4,0	5,0	5,0	4,5	6,0	6,0	5,0	6,0	7,0
801—1250	Em cima	7,0	8,0	9,0	7,0	9,0	10,0	8,0	10,0	11,0
	Em baixo, ao lado	5,0	6,0	6,0	5,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0
1251—2000	Em cima	8,0	9,0	10,0	11,0	9,0	12,0	9,0	10,0	12,0
	Em baixo, ao lado	6,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0	6,0	8,0	9,0
2001—3150	Em cima	9,0	10,0	10,0	9,0	11,0	11,0	10,0	11,0	13,0
	Em baixo, ao lado	7,0	7,0	8,0	7,0	8,0	9,0	7,0	8,0	10,0
3151—5000	Em cima	10,0	10,0	12,0	10,0	11,0	13,0	11,0	12,0	14,0
	Em baixo, ao lado	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	10,0	8,0	9,0	11,0
5001—6300	Em cima	—	12,0	—	—	13,0	10,0	—	13,0	15,0
	Em baixo, ao lado	—	9,0	—	—	9,0	14,0	—	10,0	11,0
6301—10 000	Em cima	—	—	—	—	—	—	—	—	16,0
	Em baixo, ao lado	—	—	—	—	—	—	—	—	12,0

As sobreespessuras de usinagem para fundição em areia das peças dos metais não ferrosos

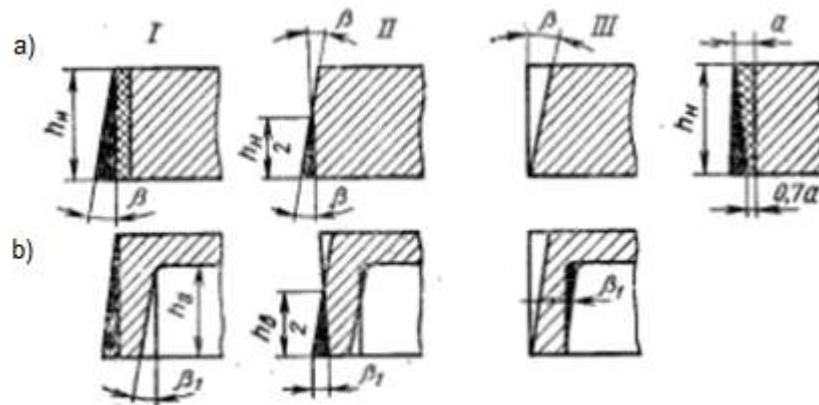
Gabarite máximo, mm	Tipo de produção					
	Em massa		De série		Unitária	
	Complecidade da peça fundida					
	Simple	Complexa	Simple	Complexa	Simple	Complexa
200	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4
201—300	2	2	2	4	4	5
301—500	3	3	3	5	5	6
501—800	3	4	4	5	5	7
801—1200	4	5	5	6	6	8
1201—1800	4	5	5	7	7	9
1801—2600	5	6	6	8	8	10
2601—3800	—	—	7	9	9	11
3801—5400	—	—	8	10	10	13
Свыше 5400	—	—	9	12	12	15

Escolha da superfície de separação

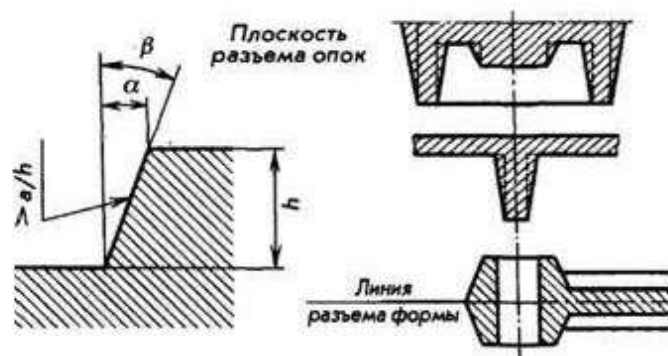


É melhor usar a superfície de separação plana, que garante a profundidade mínima das cavidades do molde e menor número e complexidade das caixas de molde.

Escolha da variante de inclinações de fundição



a) Para superfícies externas; b) para superfícies internas

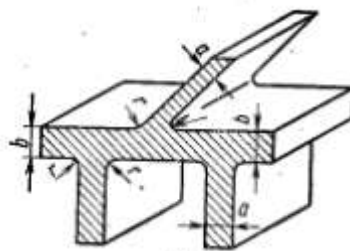


Escolha dos ângulos da inclinação em função da altura das superfícies verticais

Material de modelo	Disposição da superfície vertical	Ângulo de inclinação em função da altura da superfície vertical em mm			
		<= 20	21-50	51-100	101-200
Metal	Externa	1°30'	1°	0°45'	0°30'
	Interna	3°	2°	1°	0°45'
Madeira	Externa	3°	1°30'	1°	0°45'
	Interna	3°	2°	1°30'	1°

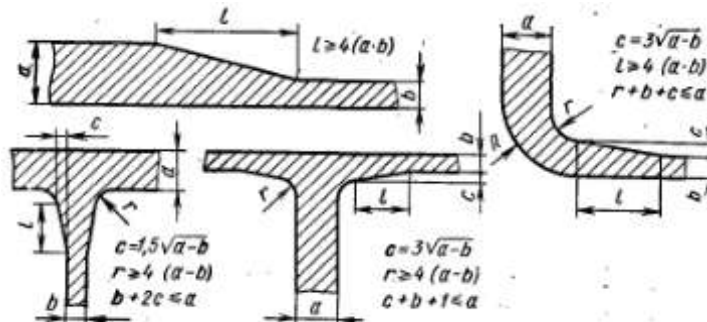
Material de modelo	Disposição da superfície vertical	Ângulo de inclinação em função da altura da superfície vertical em mm			
		201-300	301-800	801-2000	> 2000
Metal	Externa	0°30'	0°20'	0°20'	—
	Interna	0°45'	0°30'	0°30'	—
Madeira	Externa	0°30'	0°30'	0°20'	0°15'
	Interna	1°	0°45'	0°30'	0°30'

Determinação dos raios transitórios e inclinações



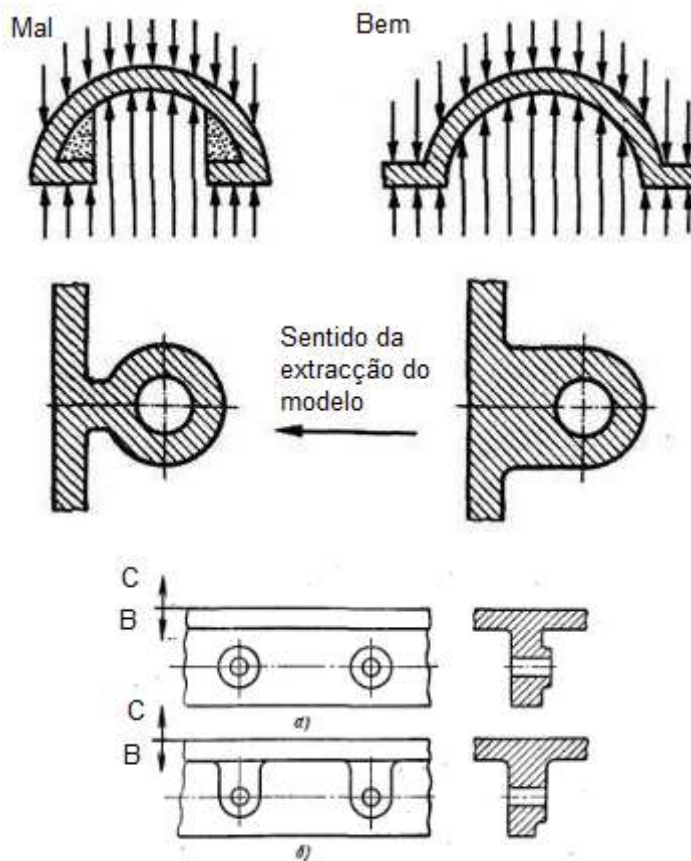
$$r = (0,1 \div 0,17)(a + b)$$

Exemplos de conjugação das superfícies grossas e finas

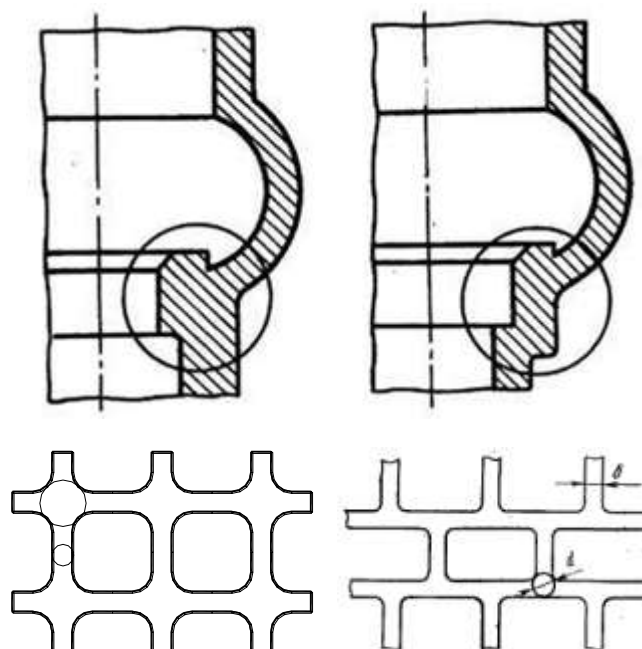


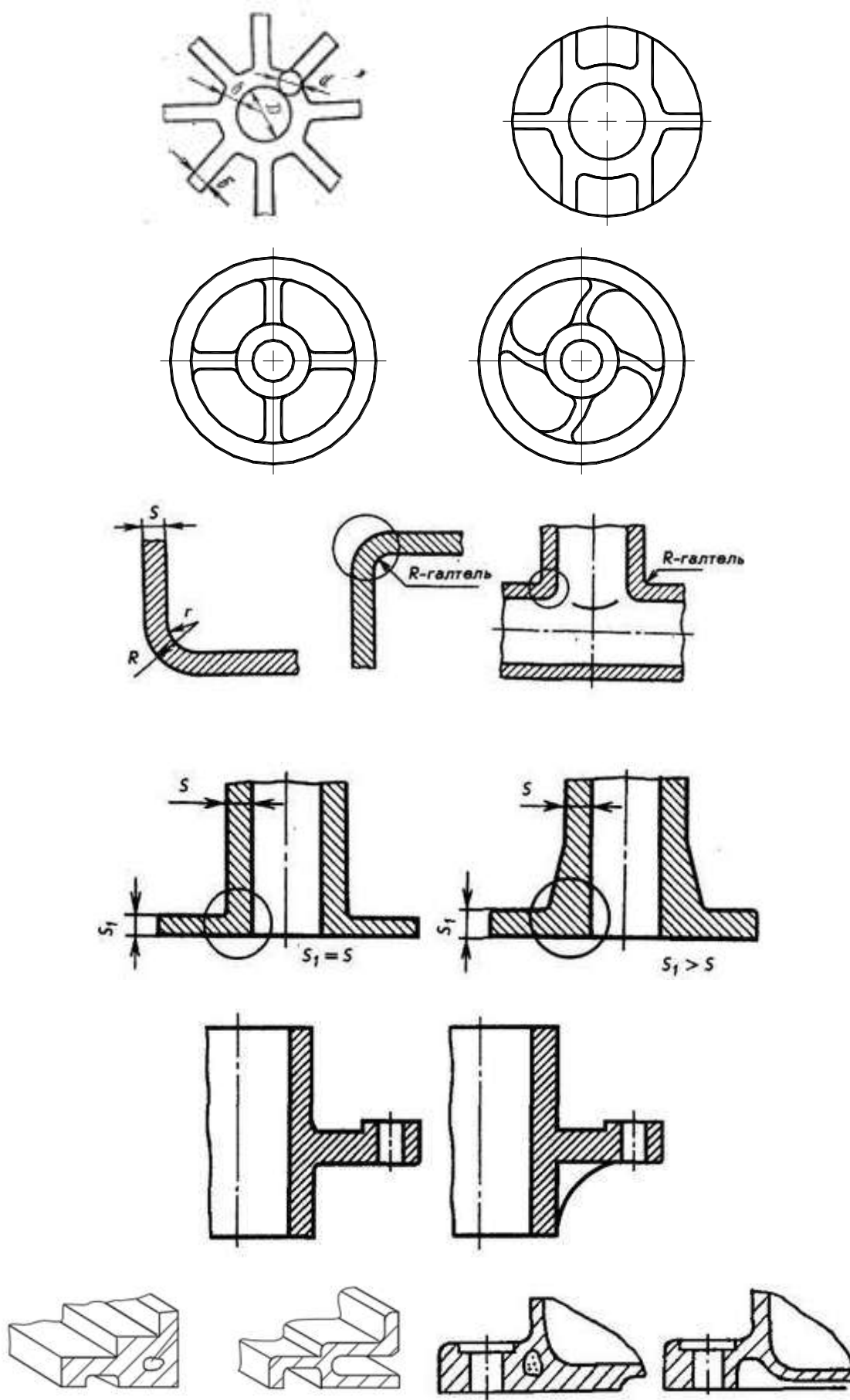
Tecnologibilidade da construção da peça

Método de sombra



Constância da espessura





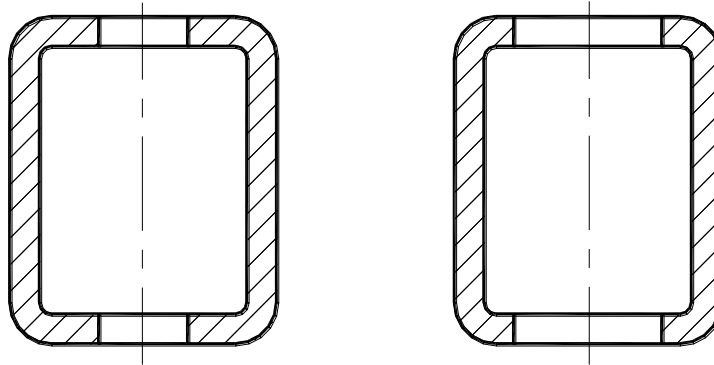


Tabela 1. Tolerâncias IT para as dimensões lineares de 1 a 500 mm

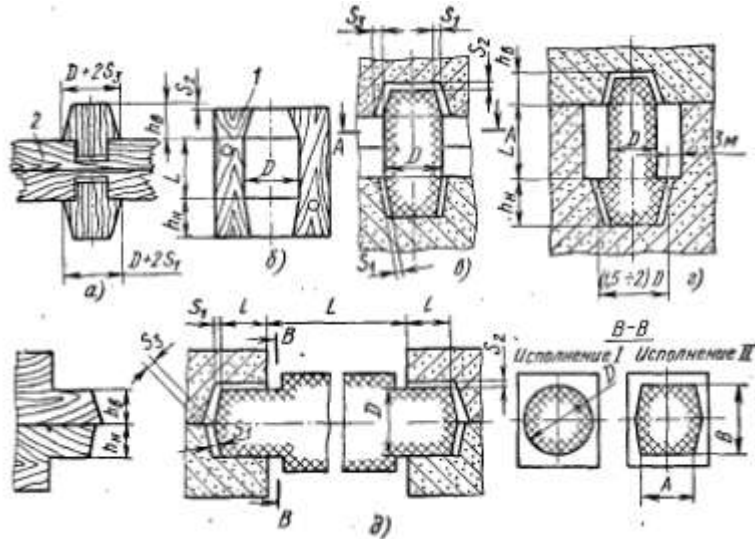
Dimensões em mm	Tolerâncias IT em μm para grau de tolerância												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
até 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
de 3 a 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
de 6 a 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
de 10 a 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
de 18 a 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
de 30 a 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
de 50 a 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80 - 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120 - 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180 - 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250 - 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315 - 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400 - 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Dimensionamento dos modelos e machos

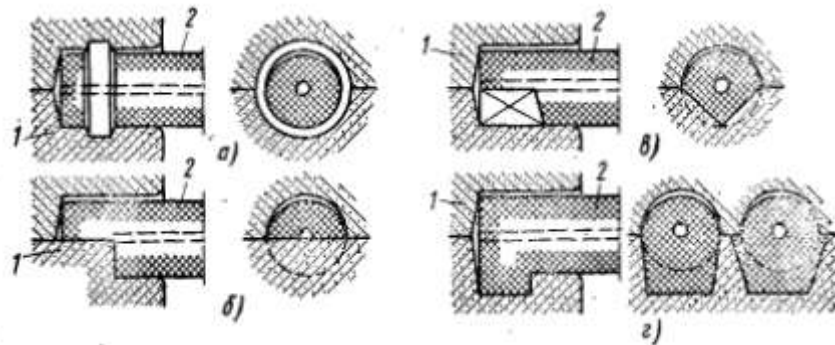
Contração linear das ligas em %

Material	α , %	Material	α , %
Ferro fundido cinzento	0,6÷1,3	Bronze de Sn	1,4÷1,6
Ferro fundido branco	1,6÷2,3	Bronze de Al	1,5÷2,4
Ferro fundido maleável perlítico	1,2÷2	Latão simples	1,5÷2,2
Ferro fundido maleável ferrítico	1,0÷1,2	Latão de Si	1,6÷1,8
Ferro fundido austenítico	1,3÷2	Silumínio	1,0÷1,2
Aço sem liga	1,5÷2	Ligas de Al	1,0÷2,0
Aço com 10÷13% Mn	2,5÷3,8	Ligas de Mg	1,1÷1,9
Aço termoresistente, de liga rica	1,8÷2,2	Ligas de Zn	1,0÷1,5

Dimensionamento dos machos e seus prensos



Construção dos prensos para evitar deslocamento e rotação



Comprimento dos prensos inferiores verticais e horizontais dos machos

Diâmetro D ou (A+B)/2, mm	Comprimento do macho em mm																	
	<= 50		51-150		151-300		301-500		501-750		751-1000		1001-1500		1501-2000		Superior 2000	
	A_n	l	A_n	l	A_n	l	A_n	l	A_n	l	A_n	l	A_n	l	A_n	l	A_n	l
<= 25	20	15	25	25	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26-50	20	20	40	35	60	45	70	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51-100	25	25	35	35	50	50	70	70	100	90	120	110	—	—	—	—	—	—
101-200	30	30	30	40	40	55	60	80	90	100	110	120	160	140	200	160	—	—
201-300	35	—	35	50	40	60	50	90	80	110	100	130	150	150	190	180	200	200
301-400	40	—	40	—	40	80	50	100	70	120	90	140	140	160	180	200	190	220
401-500	40	—	40	—	40	100	50	120	60	130	80	150	130	180	170	230	180	250
501-750	50	—	50	—	30	—	30	140	60	150	70	170	120	200	160	250	170	280
751-1000	50	—	50	—	30	—	30	—	50	180	60	200	110	230	150	280	160	300
1001-1250	—	—	60	—	60	—	60	—	60	200	60	230	100	250	140	300	150	330
1251-1500	—	—	70	—	70	—	70	—	70	—	70	250	80	280	130	330	140	350

Escolha dos comprimentos dos prensos superiores verticais

h_{B1}	MM	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
h_{B2}	MM	15	15	20	20	25	30	35	40	50	55	60
h_{B3}	MM	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
h_{B4}	MM	65	70	80	85	90	95	100	110	115	120	

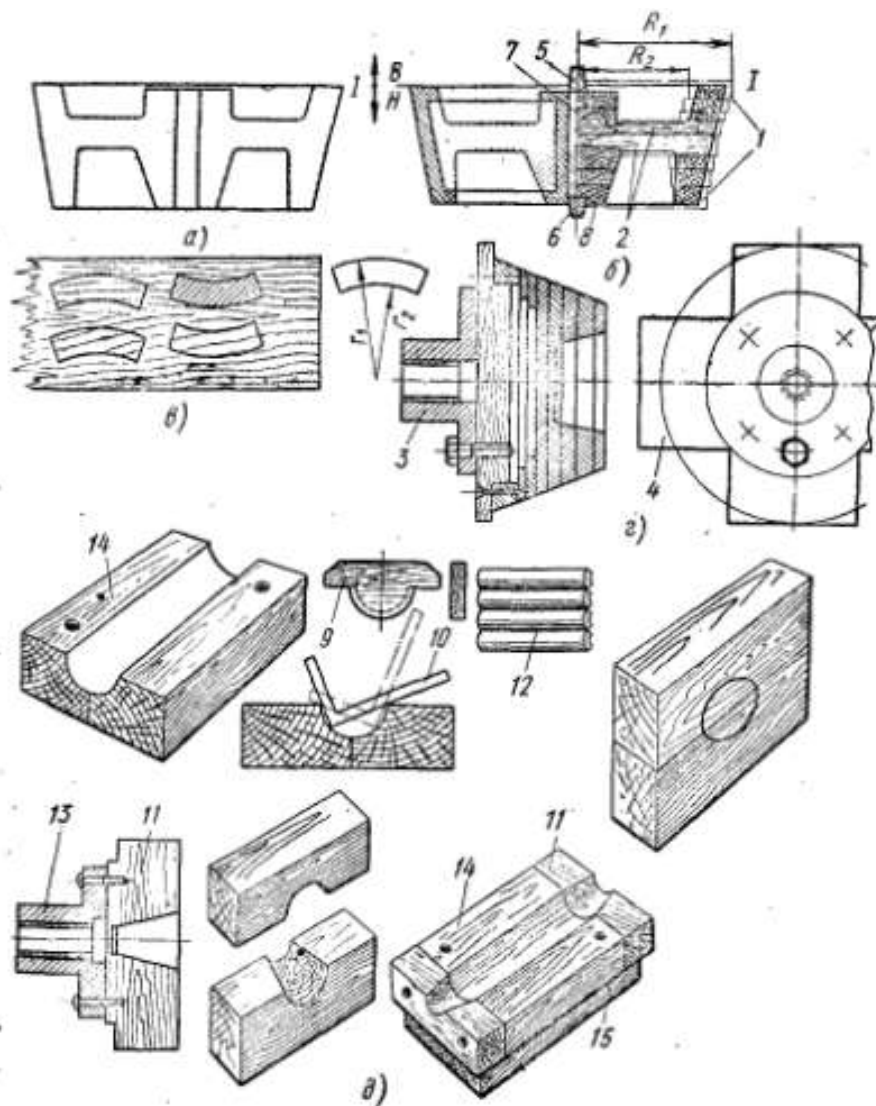
Escolha dos ângulos de inclinação dos prensos dos machos

Comprimento do preno, mm	Preno				
	Vertical		Horizontal		
	α	β	α	α_1	β
≤ 20	10°	15°	10°	3°	15°
21-50	7°	10°	7°	$1^\circ 30'$	10°
51-100	6°	8°	6°	1°	8°
101-200	5°	6°	5°	$0^\circ 45'$	6°

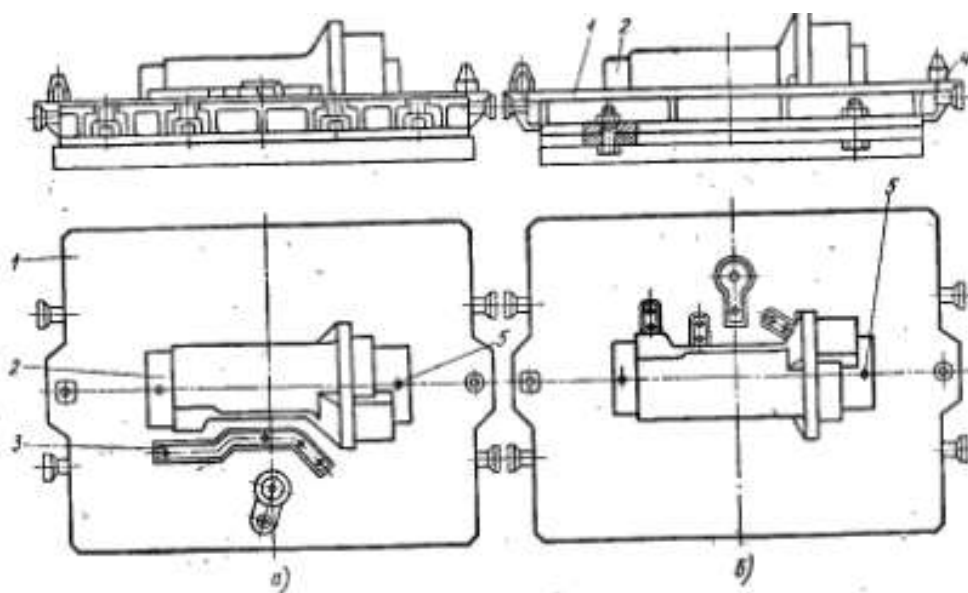
Escolha da folga entre macho e molde

Comprimento do preno, mm	Folga S1 para L ou D do macho, mm									Folga S3, mm
	S	51-100	101-300	301-500	501-750	751-1000	1001-1500	1501-2000	2001-5000	
25	0,15	0,15	0,25	—	—	—	—	—	—	—
26-50	0,25	0,25	0,5	1,0	1,0	1,5	—	—	—	1,5-2,5
51-100	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0-5,0
101-200	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,0-6,0
201-300	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,0-6,0
301-500	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	4,0-7,5
501-750	—	—	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0-8,0
751-1000	—	—	—	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5-9,0
1001-1250	—	—	—	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,5-9,5
1251-1500	—	—	—	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	7,5-10,5
Зазор S2	0,15	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	3,0	4,0	—

Jogo de modelo (modelo, placas de moldação, caixas para machos)



Placas de moldação



Resolução do problema

1. Escolha do método de fundição

Para fundição de 200 peças pequenas e simples por mês da tabela na página 5 escolhemos a produção em série média. Segundo a tabela na página 8 as peças de aço podem ser fundidas em areia com placa de moldação metálica e moldação mecanizada ou automatizada, em cera perdida ou em carapaça. O processo de fundição em areia com moldação mecanizada precisa os materiais e o equipamento mais simples e mais baratos. Mas segundo a tabela na página 6, a fundição em areia dos aços só permite receber a rugosidade R_z 100. Neste caso será necessário prever as sobreespessuras em todas as superfícies.

A fundição em carapaça e em cera perdida permite receber as superfícies externas R_z 40. Mas na fundição em carapaça os furos serão formados por machos de mistura apropriada. Neste caso a rugosidade dos furos será maior de R_z 40 e será necessário prever as sobreespessuras para furos.

Para tomar a decisão final calculamos o coeficiente de uso do material. O volume da peça acabada:

$$V_{pa} = \left(\frac{\pi \cdot 60^2 \cdot 70}{4} - \frac{2 \cdot \pi \cdot 41^2 \cdot 30}{4} - \frac{\pi \cdot 28^2 \cdot 10}{4} \right) \cdot 0,97 = 109171 \text{ mm}^3$$

41 – é o diâmetro médio da rosca = $42 - p/2$.

Verificamos a possibilidade de uso da peça bruta com furo escalonado e sobreespessuras para todas as superfícies. Neste caso, segundo a tabela na página 10 o valor da sobreespessura para peças de aço de 4 mm, recebemos o diâmetro do cilindro externo $D_{pb} = 60 + 2 \cdot 4 = 68$ mm e o comprimento $L_{pb} = 70 + 2 \cdot 4 = 78$ mm. O diâmetro dos furos nas extremidades $D_{f1} = 42 - 2 - 2 \cdot 4 = 32$ mm e seu comprimento $L_{f1} = 30 + 4 - 4 = 30$ mm. O diâmetro do furo menor $D_{f2} = 28 - 2 \cdot 4 = 20$ mm e comprimento $L_{f2} = 10 + 2 \cdot 4 = 18$ mm. Neste caso temos

$$V_{pb1} = \left(\frac{\pi \cdot 68^2 \cdot 78}{4} - \frac{2 \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 30}{4} - \frac{\pi \cdot 20^2 \cdot 18}{4} \right) \cdot 0,95 = 217893 \text{ mm}^3$$

$K_{um1} = 109171 / 217893 = 0,5$. O coeficiente de uso do material é menor de $0,6 \div 0,8$ recomendado para produção em série média. Mas a forma da peça bruta já está aproximada no máximo à forma da peça acabada. Só se pode diminuir os valores das sobreespessuras, usando a fundição em cera perdida ou em carapaça para eliminar as sobreespessuras nas faces e diminuir no cilindro externo.

Calculamos o volume da peça bruta obtida por fundição em carapaça sem sobreespessuras nas extremidades (eles são superfícies livres), com sobreespessura de 1 mm para cilindro externo (é superfície livre, só tem rugosidade baixa para ter bom aspecto) e 4 mm para furos:

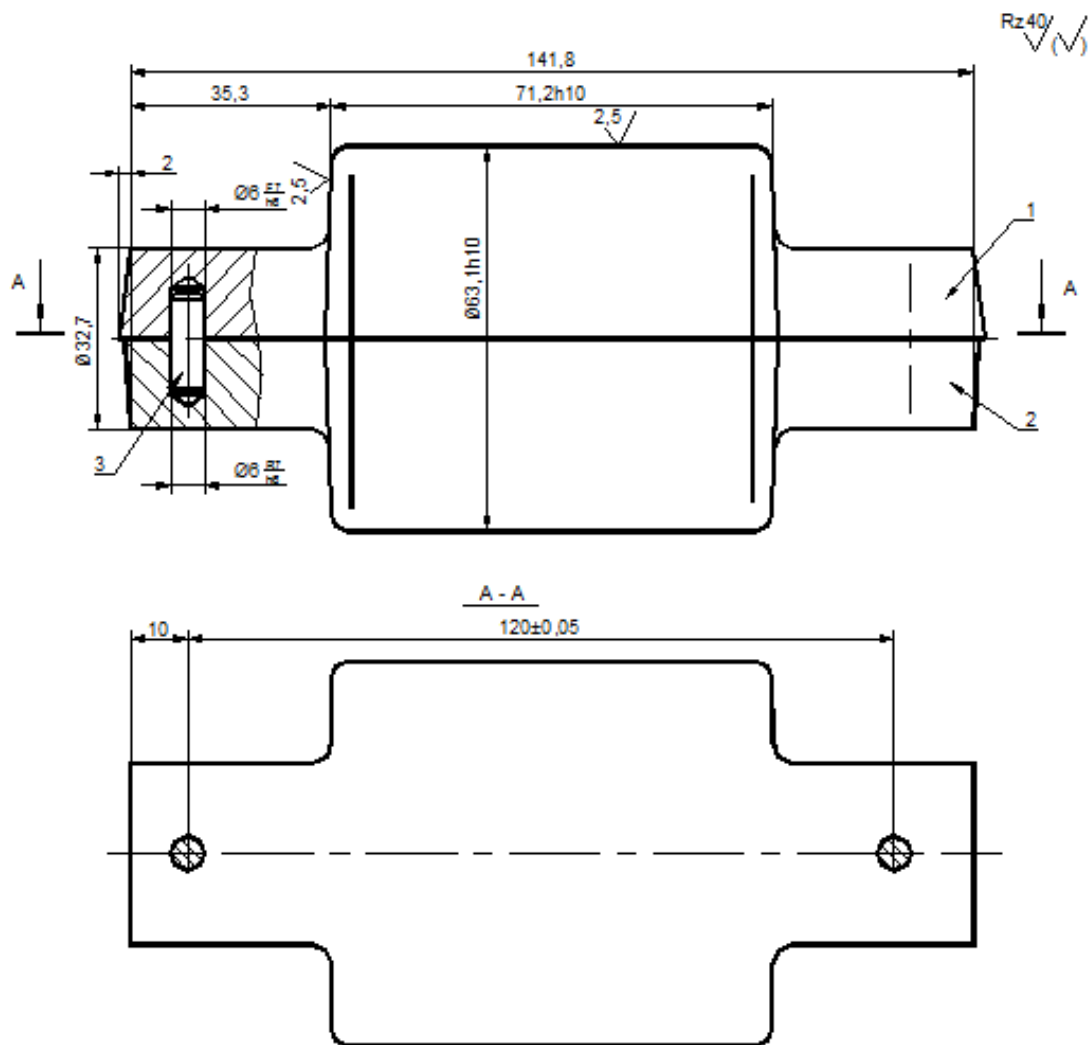
$$V_{pb2} = \left(\frac{\pi \cdot 62^2 \cdot 70}{4} - \frac{2 \cdot \pi \cdot 32^2 \cdot 26}{4} - \frac{\pi \cdot 20^2 \cdot 18}{4} \right) \cdot 0,95 = 155666 \text{ mm}^{3**}$$

3. Projecção do modelo (27 p.)

As dimensões do modelo, do molde e do macho calculam-se através da mesma fórmula que toma em conta o coeficiente de contracção do material da peça:

$D_m = D_p \cdot (1 + C_c/100)$, * onde D_m - dimensão do modelo, molde, ou do macho; D_p - dimensão correspondente da peça bruta; C_c – coeficiente de contracção do material da peça em por centos. Da tabela na pagina 15 para aço sem liga tomamos $C_c = 1,7\%$.*

As dimensão dos prensos do modelo tomam-se maiores das dos prensos do macho nos valores de folgas S_1 , S_2 e S_3 . Da tabela na pagina 17 tomam $S_1 = 0,5$ mm (em função do comprimento do preno $L = 35$ segundo a tabela na pagina 16 e da parte útil do macho – 70 mm), * $S_2 = 0,15$ mm (em função do D do preno – 32,5) * e $S_3 = 2$ mm (em função do L do preno). Escolhemos os prensos cilíndricos. *



1. Desvios não indicados: Furos – H12; Veios – h12; Outros - $\pm IT12/2$ *
2. Raios transitórios e de boleamento – 3 mm
3. Ângulo de inclinação das faces – 1° *

Legenda **

1. Semimodelo superior – 1 – GG150
2. Semimodelo inferior – 1 – GG150
3. Pino – 2 – aço 35, HRC 30

$$D_{m62} = 62 \cdot 1,017 = 63,1h10; * \quad L_{m70} = 70 \cdot 1,017 = 71,2h10 \text{ mm}^*$$

$$L_{\text{prenso macho}} = 35 \text{ mm}; \quad L_{\text{prenso modelo}} = 35 + S_1 = 35 + 0,25 = 35,3 \text{ mm}^{**}$$

$$D_{\text{max macho}} = D_{\text{prenso macho}} = 32 \cdot 1,017 = 32,5 \text{ mm}; *$$

$$D_{\text{prenso modelo}} = 32,5 + S_2 = 32,5 + 0,15 = 32,7 \text{ mm}^*$$

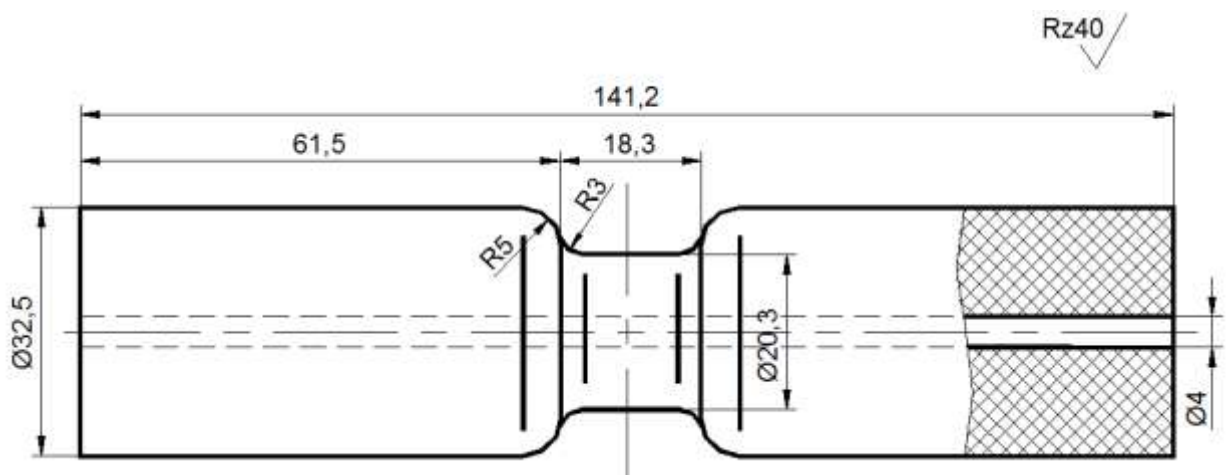
$$L_{\text{modelo}} = 2 \cdot 35,3 + 71,2 = 141,8 \text{ mm}^*$$

4. Projecção do macho (12 p.)

Algumas dimensões forem determinadas antes. Determinamos outras dimensões:

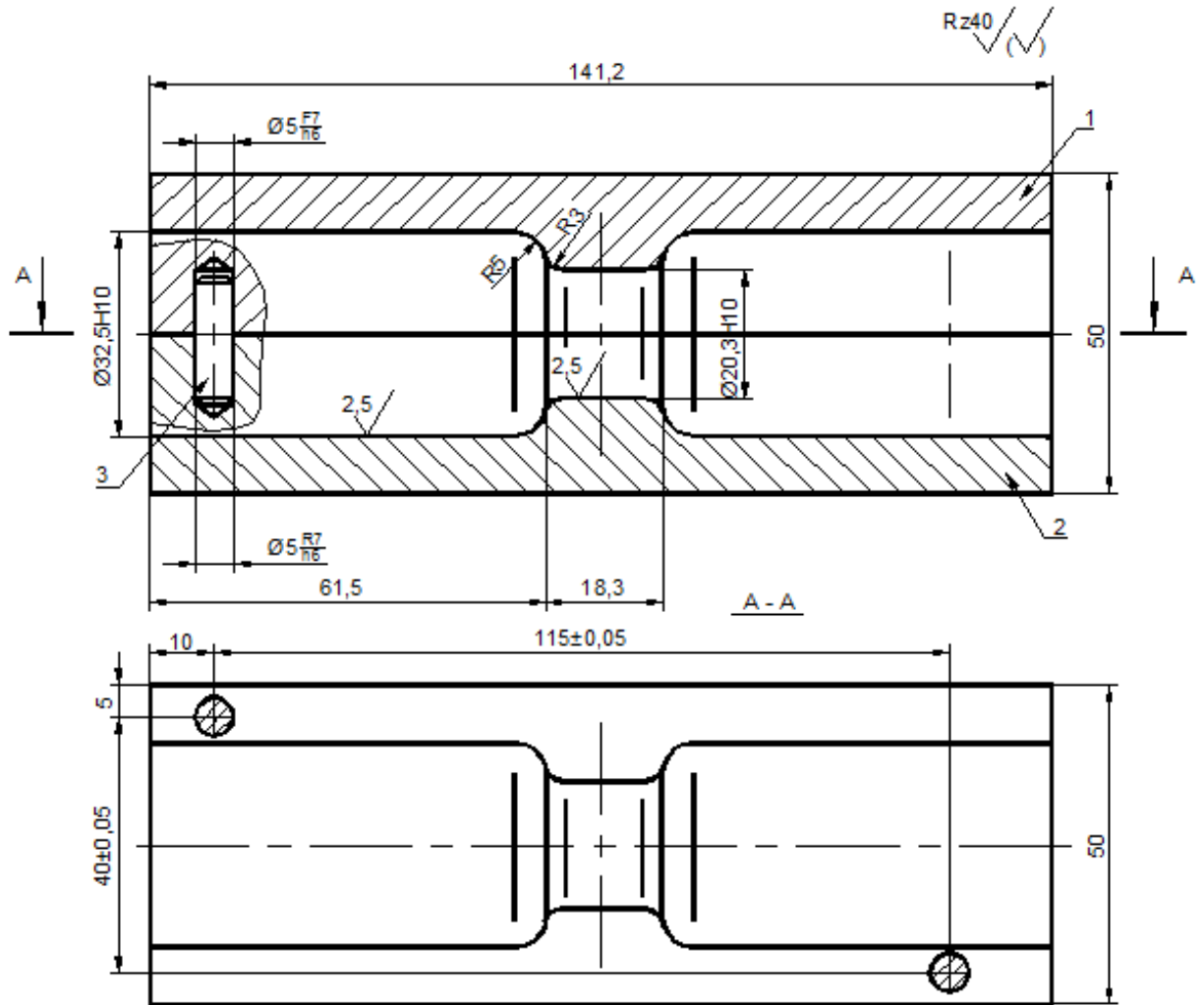
$$D_{\text{ranhura macho}} = 20 \cdot 1,017 = 20,3 \text{ mm}; * \quad B_{\text{ranhura macho}} = 18 \cdot 1,017 = 18,3 \text{ mm}; *$$

$$L_{\text{macho}} = 2 \cdot 35 + 71,2 = 141,2 \text{ mm}^*$$



1. Desvios não indicados: Furos – H12; Veios – h12; Outros - $\pm IT12/2$ *
2. Bolear bordos agudos R 1 mm
3. Material – mistura para machos*

5. Desenho da caixa de macho (20 p.)



1. Desvios não indicados: Furos – H12; Veios – h12; Outros - $\pm IT12/2^*$
2. Bolear bordos agudos R 1 mm
3. Material – aço 45, HRC 35*

Legenda: **

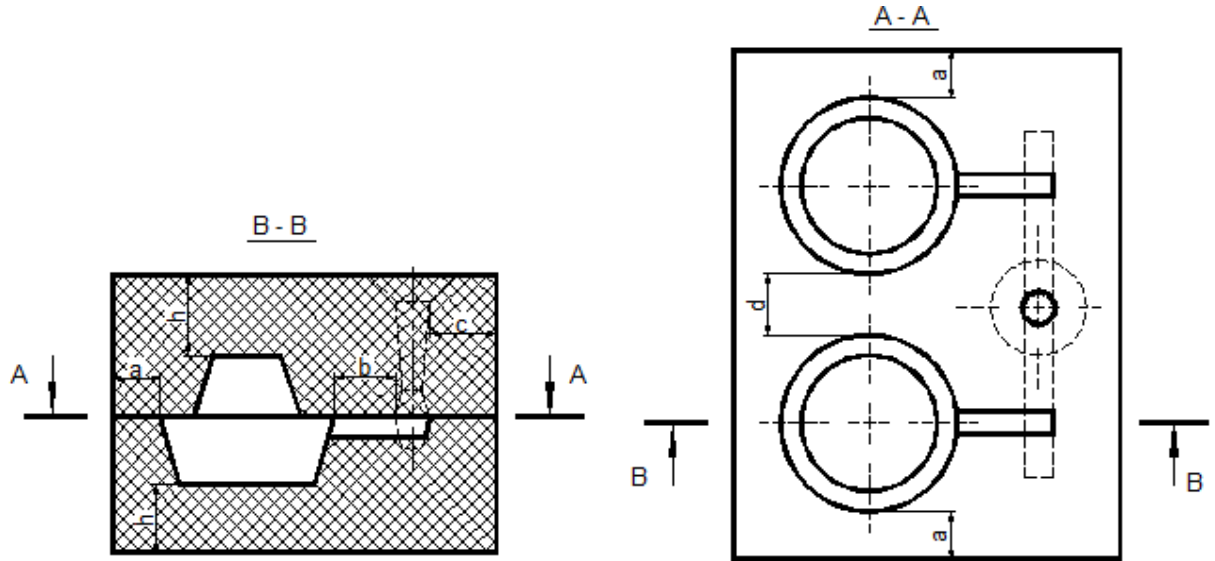
1. Caixa superior – 1 – GG150
2. Caixa inferior – 1 – GG150
3. Pino – 2 – aço 35, HRC30

Número total dos pontos – 100. 1 p. = $20/100 = 0,2$ v.

Professor Doutor

Alexandre Kourbatov

Escolha e dimensionamento das caixas de molde



Dimensões mínimas em mm

Massa da peça fundida em kg	h	a	c	d	b
até 5	40	30	30	30	30
5 - 10	50	40	40	40	30
10 - 25	60	40	50	50	30
25 - 50	70	50	50	60	40
50 - 100	90	50	60	70	50
100 - 250	100	60	70	100	60
250 - 500	120	70	80	-	70
500 - 1000	150	90	90	-	120
1000 - 2000	200	100	100	-	150
2000 - 3000	250	125	125	-	200
3000 - 4000	275	150	150	-	225
4000 - 5000	300	175	175	-	250
5000 - 10000	350	200	200	-	250
mais de 10 000	400	250	250	-	250

Dimensões das caixas de molde normalizadas para moldação manual

Com-prim., L, mm	Largura B ou diâmetro D, mm												
	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	Altura, mm												
315	100												
400	125	125											
500	125	125	125										
630	125	160	160	160									
800	160	160	160	160									
1000	160	160	160	200	200	200							
1250	160	200	200	200	200	200	200						
1600	200	200	200	200	200	250	250	250					
2000	200	200	200	250	250	250	250	250	250				
2500		250	250	250	250	250	315	315	315	315			
3150			315	315	315	315	315	315	315	315	315		
4000				315	315	315	315	315	315	400	400	400	
5000					315	315	315	400	400	400	400	400	400

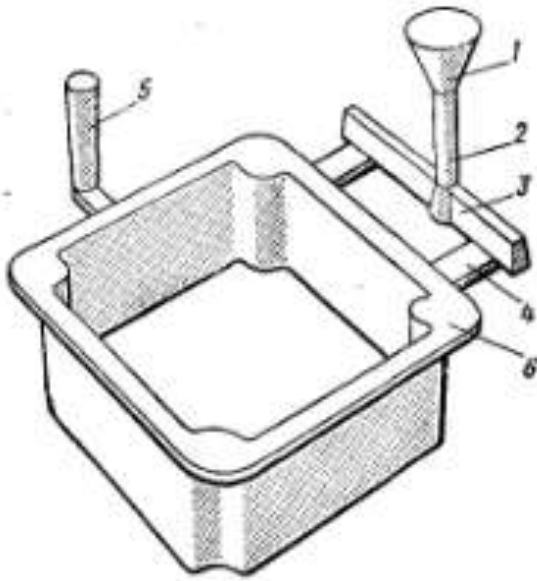
Admitem-se alturas de caixas: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500

Dimensões das caixas de molde normalizadas para moldação de máquina

Com-prim., L, mm	Largura B ou diâmetro D, mm																		
	30	200	315	315	400	450	500	550	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
	Altura, mm																		
250	100																		
280	100	100																	
315	100	100	100																
355	100	125	125	125															
400	125	125	125	125	125														
450	125	125	125	125	125	125													
500	125	125	125	125	125	125	125												
560	125	125	125	125	125	160	160	160											
630	125	125	125	160	160	160	160	160	160										
710	125	125	160	160	160	160	160	160	160	160									
800	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160								
900	160	160	160	160	160	160	160	160	160	200	200	200	200						
1000	160	160	160	160	160	160	160	160	200	200	200	200	200	200					
1120		160	160	160	160	160	200	200	200	200	200	200	200	200	200				
1250			160	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200			
1400				200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250		
1600					200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	
1800						200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2000							200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
2240								250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	315
2360									250	250	250	250	250	250	250	250	250	315	
2800										250	250	250	250	250	315	315			
3150											250	250	315	315	315				

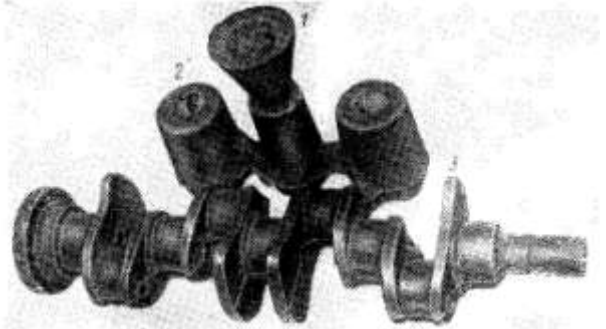
Admitem-se alturas de caixas: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500

Projecção do sistema de gito

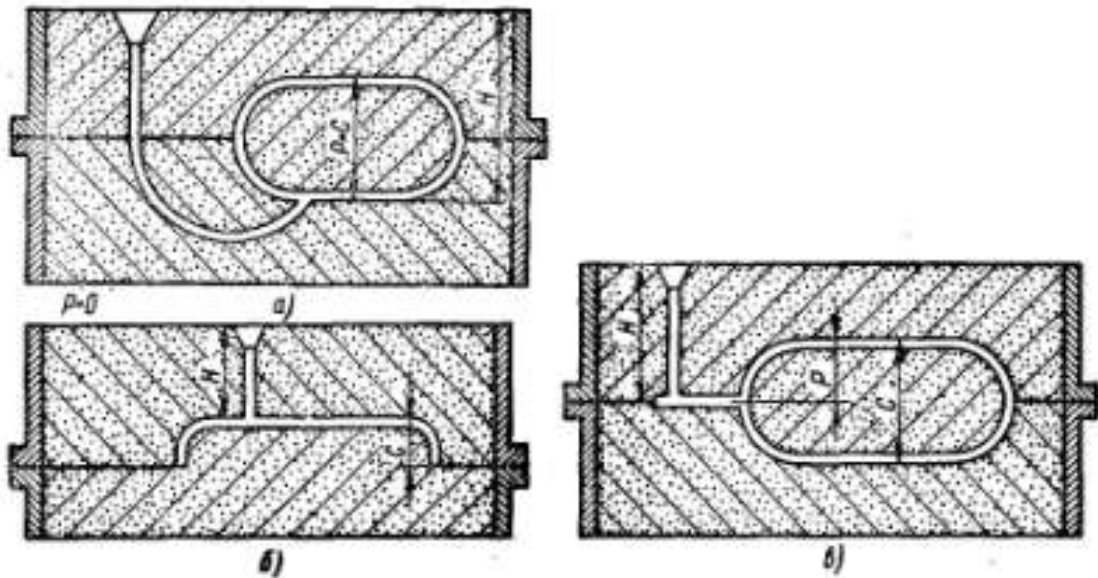


1. Bacia; 2. Coluna de vazamento;
3. Canal de escória; 4. Canal de ataque;
5. Respirador / Alimentador;
6. Peça bruta

Para materiais pesados (ligas de Fe, Cu) os canais de ataque ficam abaixo de canal de escória, para materiais leves (ligas de Al, Mg) – acima.



Métodos de fornecimento do metal líquido



A área somatória da secção transversal dos canais de ataque calcula-se pela fórmula:

$$F_{ca} = \frac{G_{pf}}{\gamma \cdot t \cdot v} = \frac{G_{pf}}{\gamma \cdot t \cdot \mu \sqrt{2g \cdot H_c}}$$

Onde G_{pf} – massa da peça fundida (peças brutas junto com sistema de gito) em g;
 γ - densidade do metal em g/cm^3 ; t - tempo de vazamento em s; v - velocidade de deslocamento do metal em cm/s ; μ - coeficiente de resistência do deslocamento do metal nos canais do sistema de gito e na cavidade de trabalho (para peças de paredes

finas - $0,3 \div 0,5$, para peça grandes de paredes grossas - $0,7 \div 0,8$); g - aceleração de gravidade, $g = 981 \text{ cm/s}^2$; H_c – altura estática calculada de queda em cm.

$$G_{pf} = n_{pb} \cdot G_{pb} \cdot C_{sg}$$

Onde n_{pb} – número das peças brutas que se recebe de um molde por um vazamento; G_{pb} – massa de uma peça bruta; C_{sg} – coeficiente que toma em conta a massa do sistema de gito; para peças pequenas toma-se de 1,2 a 1,4, para peças médias – de 1,15 a 1,25, para peças grandes – de 1,05 a 1,15.

$$H_c = \frac{2HC - P^2}{2C} = H - \frac{P^2}{2C}$$

Onde H – altura do local de fornecimento do metal para cavidade de trabalho até parte superior da bacia de vazamento, cm; C – altura da peça fundida, cm; P – altura do local de fornecimento do metal para cavidade de trabalho até parte superior da peça fundida em cm.

- Para vazamento de baixo $P = C$, então $H_c = H - C/2$;

- Para vazamento de cima $P = 0$, então $H_c = H$;

- Para vazamento no meio da peça, quando $P = C/2$, temos $H_c = H - C/8$

Para peças fundidas com paredes de $2,5 \div 15 \text{ mm}$ e massa até 450 kg o tempo de vazamento em segundos determina-se pela fórmula - $t = s \sqrt{G_{pf}}$,

Onde G_{pf} - massa da peça fundida em kg; s – coeficiente que toma em conta a espessura média δ das paredes da peça. Para ferros fundidos:

δ , mm	2,5 ÷ 3,5	3,5 ÷ 8	8 ÷ 15
s	1,68	1,85	2,2

Para peças médias e grandes com massa até 10000 kg $t = s \sqrt[3]{G_{pf} \cdot \delta}$,

Onde G_{pf} - massa da peça fundida em kg; δ - espessura média das paredes em mm.

Material da peça	δ , mm			
	10	20	40	80 e mais
Ferros Fundidos	1,0	1,35	1,5	1,7
Aços	1,4 ÷ 1,6 (1,8 para materiais inclinados a formação fissuras, cavidades)			
Ligas de Cu	0,65 ÷ 0,7	0,75 ÷ 0,8	0,9	1,1 ÷ 1,2
Ligas de Al	1,8 ÷ 2	2,2 ÷ 2,4	2,6	3

Destacam sistemas de gito:

1. Convergentes, $F_{cv} > F_{ca}$ - para materiais pesados: aços, ferros fundidos, ligas de cobre. Canais de ataque ficam abaixo do canal de escória e distribuição.

2. Divergentes, $F_{cv} < F_{ca}$ - para materiais leves: ligas de Al, de Mg, materiais oxidáveis. Canais de ataque ficam acima do canal de escória e distribuição.

As áreas da secção transversal dos canais da escória e distribuição F_e e da coluna de vazamento F_{cv} determinam-se através de seguintes relações:

Para ferros fundidos cinzentos

- Para peças pequenas de paredes finas $F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,06 : 1,11$
- Para peças pequenas e médias $F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,1 : 1,15$
- Para peças médias e grandes $F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,5 : 2$
- Para peças grandes $F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,2 : 1,4$

Para ferros fundidos maleáveis

$F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1,5 : 1 : 1$

Para aços:

$F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,3 : 1,6$

Para bronzes

$F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 3 : 1,2 : (1,2 \div 2)$

Para latões

$F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,3 : (1,6 \div 2)$

Para ligas de Al e Mg

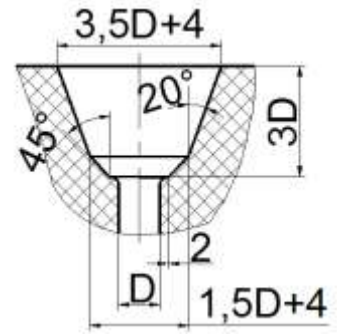
$F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : (0,33 \div 0,67) : (0,17 \div 0,33)$

Relações $F_{cv} : F_{ce} : F_{ca}$ recomendadas por diferentes autores

Metal	Relação de Gitação		Autor
Ferro Fundido	1,0/ 1,25/ 1,25	para repartição uniforme pelos ataques	Gabel
	1,0/ 2,0/ 1,0		Gabel
	1,0/ 0,8/ 0,6 a 0,7		Autores russos
	1,0/ 0,75/ 0,5		Fred, Lhmann
	1,0/ 0,86/ 0,715		Lips e Hipper Hess
Ferro Maleável	1,0/ 0,5/ 2,45	peças grossas	Hess
	1,0/ 0,67/ 1,67	" delgadas	Hess
Aço	1,0/ 1,2 a 1,5/ 1,9	peças delgadas	Gabel
	1,0/ 2,0/ 2,0		Gabel
	1,0/ 2,0/ 2,0		Johnson
	1,0/ 2,0/ 1,0		Johnson
	1,0/ 0,81/ 0,625		sistema pressurizado
Latão de alta resistência	1,0/ 2,0/ 1,0		Johnson
Bronze de Al.	1,0/ 2,88/ 4,80		Robertson e Hardy
Outras Ligas de Cobre	1,0/ 1,2/ 1,4		
Liga Leves (de Al)	1,0/ 1,2/ 2,0	1 canal 2 canais	Gabel
	1,0/ 2,0/ 1,0		Johnson
	1,0/ 4,0/ 4,0		Eastwood
	1,0/ 6,0/ 6,0		Eastwood
Ligas de Mg	1,0/ 2,4/ 4,0		Cristello
	1,0/ 4,0/ 8,0		Gabel
	1,0/ 2,0/ 2,0		Elliot

Escolha e dimensionamento das bacias

Para peças fundidas da massa $G_{pf} \leq 15$ kg utiliza-se o funil. O funil pode ter a construção simples, $D_{sup} = (2\div 3) \cdot D_{cv}$, ângulo $2\varphi = 40\div 60^\circ$. A construção e as dimensões do funil pode-se tomar também em conformidade com figura a direita, onde $D = D_{cv}$. As dimensões arredondam-se até as dimensões normais.



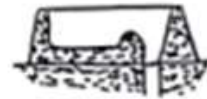
Para peças fundidas de maior massa utilizam-se sortilhas.



Funil



Sortilha simples



Sortilha com macho



Sortilha com filtro



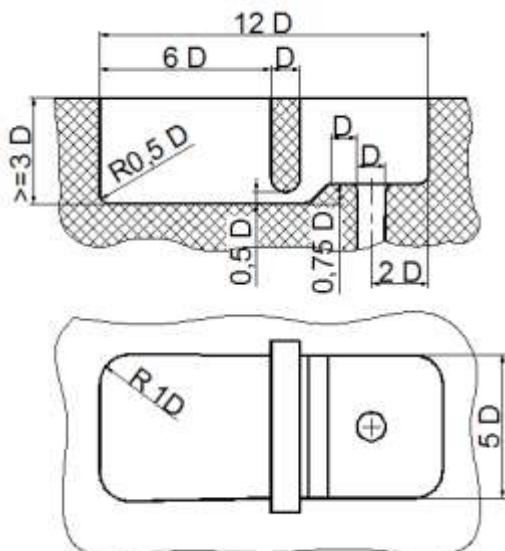
Sortilha com anteparo fusível



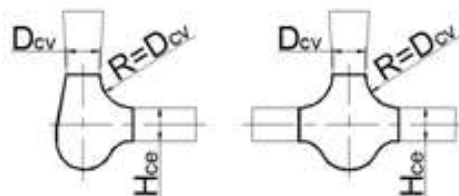
Sortilha com rola

As dimensões das sortilhas normalizadas podem ser escolhidas das tabelas apropriadas ou podem ser calculadas segundo as recomendações apresentadas na figura em baixo ($D = D_{cv}$). As dimensões arredondam-se até as dimensões normais.

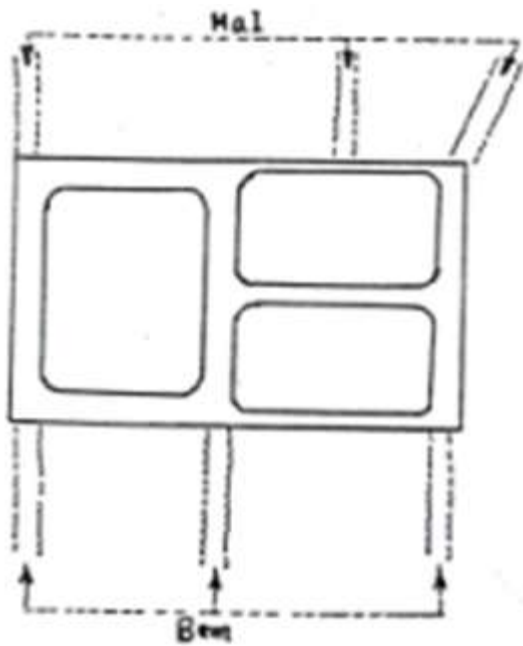
Dimensionamento das sortilhas



Bases das colunas de vazamento



Posicionamento dos canais de ataque



Dimensionamento dos canais:

Para canais de ataque e de escória da secção trapezoidal



$$B_{ca/ce} \leq H_{ca/ce};$$

$$A_{ca/ce} = 0,75 H_{ca/ce};$$

$$F_{ca/ce} = \frac{A+B}{2} H_{ca/ce} = 0,875 \cdot H_{ca/ce}^2$$

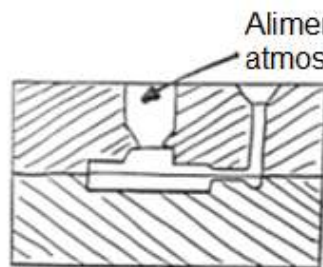
$$B_{ca/ce} = H_{ca/ce} = \sqrt{\frac{F_{ca/ce}}{0,875}}$$

Para coluna de vazamento da secção circular $F_{cv} = \frac{\pi \cdot D_{cv}^2}{4}$

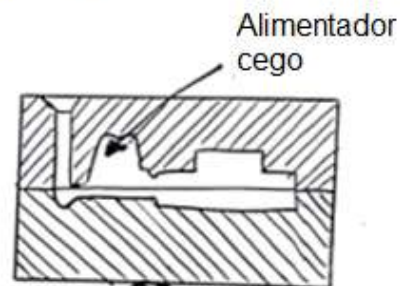
$$\rightarrow D_{cv \min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cv}}{\pi}}$$

Dimensionamento dos alimentadores

Tipos de alimentadores

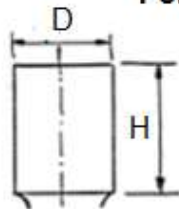


Sem protecção térmica



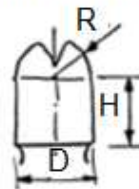
Com protecção térmica

Formas de alimentadores



Alimentador atmosférico

$$H = (1 \text{ a } 1,5) D$$



Alimentador cego

$$H = D; \quad R = D / 2$$

$$V_a \geq 2 \cdot C_v \cdot V_{pf}, \text{ onde } C_v - \text{contração volumétrica } C_v = 3 \cdot \alpha. \quad D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot V_a}{\pi \cdot H_a}}$$

Segundo Gabel

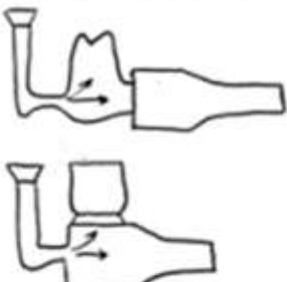



$$D_a = 4,67 \cdot M_a = 4,67 \cdot K \cdot t \cdot M_{pf}$$

$$M_{pf} = V_{pf} / A_{pf}$$

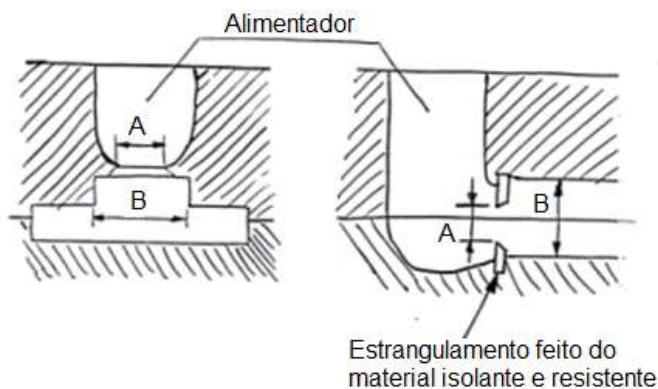
$$H_a = 7 \cdot M_a$$

Onde M_a e M_{pf} – módulos de arrefecimento do alimentador a da peça fundida; K – constante que depende das características térmicas do material da peça e do molde; t – tempo de arrefecimento da peça fundida ou de uma sua parte; V_{pf} – volume da peça fundida; A_{pf} – área superficial da peça fundida.

Valores aproximados da constante K da expressão $M_a = K \cdot t \cdot M_{pf}$

$K = 1,0$	<p>Caso corrente - alimentador colocado sobre o canal de ataque ou em cima da peça bruta mas situado perto do canal de ataque</p> 
$K = 1,1$	<p>Alimentador frio - cheio com metal ido da peça e por isso já está frio</p> 
$K = 0,9$	<p>Alimentador quente - com protecção exotérmica superior</p> 
$K = 0,65$	<p>Alimentador exotérmico com protecção exotérmica a volta dele</p> 

Ligação dos alimentadores com peça bruta



$$A \leq 0,85 B$$

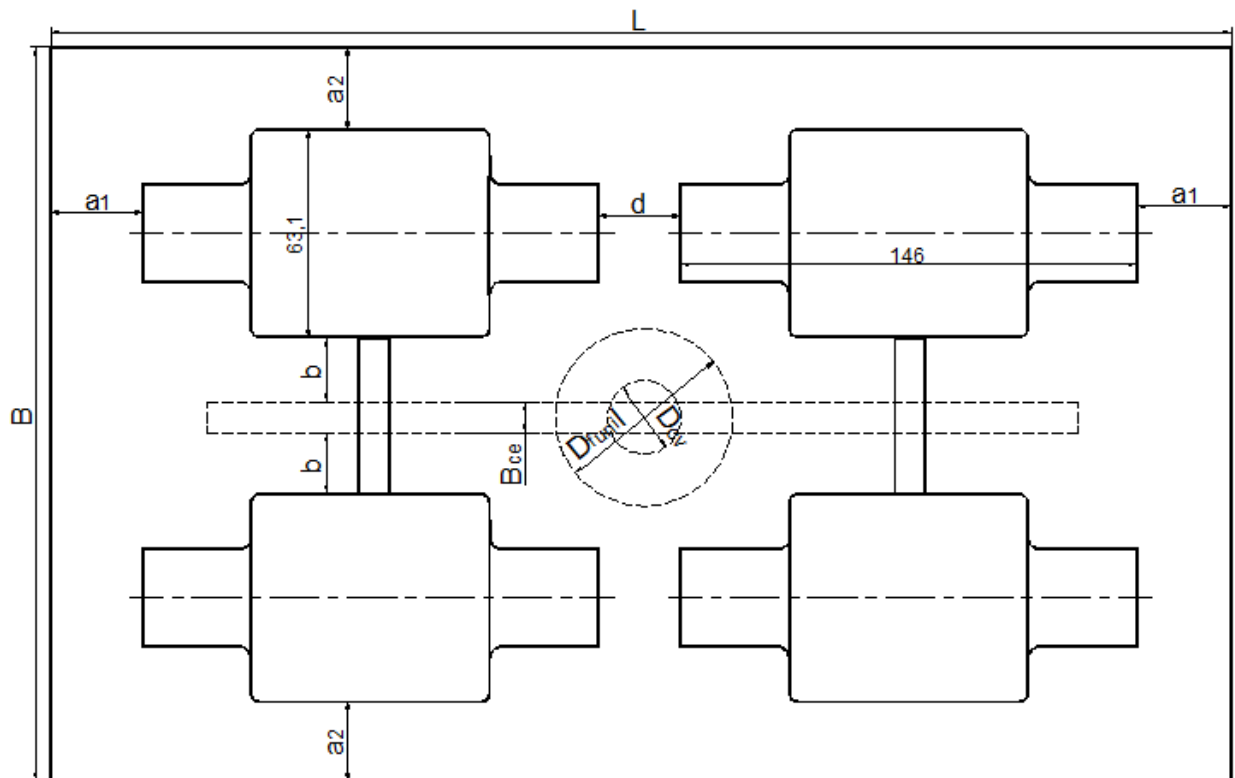
Os alimentadores têm que arrefecer últimos. Para garantir isso faz-se o seu isolamento por dentro com mistura que contém óxidos de Fe e Al que reagem com metal líquido, extrai o calor e assim aquece o metal do alimentador. A espessura do isolamento $E_{is} = 0,15 \cdot D_a$

O alimentador tem que ter a altura suficiente para o rechupe criar-se nele.

Exemplo do dimensionamento da caixa de molde, do sistema de gito, da placa de modelo e do molde montado

Dimensionamento da caixa de molde, do sistema de gito, da placa de modelo e do molde montado fazemos para fundição das peças brutas apresentadas na página 21.

O modelo da porca é de tamanho pequeno (da página 22 o comprimento - 146 mm e o diâmetro máximo - 63,1 mm) e a produção é em série média, por isso vamos projectar a caixa de moldação para vazamento simultâneo de 4 porcas. O esquema de disposição das cavidades de trabalho e dos canais do sistema de gito está apresentado na figura em baixo.



Determinamos a massa da peça bruta: $G_{pb} = V_{pb} \cdot \gamma$. Para aços sem liga $\gamma = 7,8 \text{ g/cm}^3$

$$G_{pb} = 155,666 \cdot 7,8 = 1214 \text{ g} = 1,214 \text{ kg}$$

Para nosso caso a massa da peça fundida $G_{pf} = 4 \cdot G_{pb} \cdot C_{sg}$.

O coeficiente da massa do sistema de gito C_{sg} toma-se no início de 1,2 a 1,6. Os valores menores tomam-se para peças maiores. Tomamos $C_{sg} = 1,5$

$$G_{pf} = 4 \cdot 1214 \cdot 1,5 = 7284 \text{ g}$$

Da tabela na página 25 tomamos as dimensões segundo a massa da peça fundida:

- Altura mínima da cavidade de trabalho até o fundo da caixa $h_{\min} = 50 \text{ mm}$;
- Distância mínima da cavidade de trabalho até a caixa $a_{\min} = 40 \text{ mm}$;
- Distância mínima da coluna de vazamento até a caixa $c_{\min} = 40 \text{ mm}$;

- Distância mínima entre cavidades de trabalho $d_{\min} = 40$ mm;
- Comprimento mínima do canal de ataque $b_{\min} = 30$ mm.

Segundo o esquema de disposição das cavidades e dimensões mínimas escolhidas:

$$L_{\min} = 2 \cdot a_{\min} + 2 \cdot L_{\text{modelo}} + d_{\min}; \quad L_{\min} = 2 \cdot 40 + 2 \cdot 146 + 40 = 412 \text{ mm}$$

$$B_{\min} = 2 \cdot a_{\min} + 2 \cdot D_{\text{modelo}} + 2 \cdot b_{\min} + B_e;$$

Tomamos a largura do canal de escória $B_e = 20$ mm

$$B_{\min} = 2 \cdot 40 + 2 \cdot 63 + 2 \cdot 30 + 20 = 286 \text{ mm}$$

$$H_{\min} = D_m/2 + h_{\min}; \quad H_{\min} = 63/2 + 50 = 81,5 \text{ mm}$$

Segundo a tabela na pagina 26 tomamos a caixa com dimensões:

$$L = 450 \text{ mm}; \quad B = 315 \text{ mm}; \quad H = 100 \text{ mm}$$

Recalculamos as dimensões a_1 , a_2 (no sentido horizontal e vertical respectivamente) e h , mantendo as dimensões $d = d_{\min} = 40$ mm e $b = b_{\min} = 30$ mm:

$$L = 2 \cdot a_1 + 2 \cdot L_{\text{modelo}} + d = 450.$$

$$\text{Daí } a_1 = (450 - 2 \cdot 146 - 40)/2 = 59 \text{ mm}$$

$$B = 2 \cdot a_2 + 2 \cdot D_{\text{modelo}} + 2 \cdot b + B_{ce} = 315.$$

$$\text{Daí } a_2 = (315 - 2 \cdot 63 - 2 \cdot 30 - 20)/2 = 54,5 \text{ mm}$$

$$H = D_{pb}/2 + h = 80 \quad \text{Daí } h = 100 - 63/2 = 68,5 \text{ mm}$$

Dimensionamento dos canais do sistema de gito.

A área somatória da secção transversal dos canais de ataque determinamos pela fórmula:

$$F_{ca} = \frac{G}{\gamma \cdot t \cdot \mu \sqrt{2g \cdot H_c}},$$

$g = 981 \text{ cm/s}^2$. Para aço $\gamma = 7,8 \text{ g/cm}^3$. Para peça de paredes finas tomamos $\mu = 0,4$.

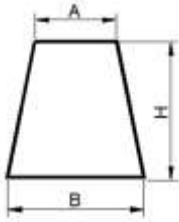
$$t = s\sqrt{G} \quad t = 2,2\sqrt{7,284} = 5,9 \text{ s}$$

Para vazamento no meio da peça $H_c = H - C/8$. $H_c = 100 - 63/8 = 92,1 \text{ mm}$

Daí, a área somatória da secção transversal dos canais de ataque:

$$F_{ca} = \frac{7284}{7,8 \cdot 5,9 \cdot 0,4 \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 9,21}} = 2,94 \text{ cm}^2$$

Temos 4 canais de ataque. Por isso a área de um canal $F_{ca1} = 2,94/4 = 0,736 \text{ cm}^2$



As dimensões da secção trapezoidal dos canais determinamos pelas

fórmulas: $B_{ca/ce} = H_{ca/ce} = \sqrt{\frac{F_{a/e}}{0,875}}$ e $A_{ca/ce} = 0,75 H_{ca/ce}$

$$B_{ca} = H_{ca} = \sqrt{\frac{0,736}{0,875}} = 0,92 \text{ cm} = 9,2 \text{ mm}$$

$$A_{ca} = 0,75 \cdot 9,2 = 6,9 \text{ mm}$$

Para peças de aço da página 26 tomamos a relação

$$F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,3 : 1,6$$

Determinamos as dimensões do canal da escória:

$$F_{ce} = 1,3 \cdot 2,94 = 3,82 \text{ cm}^2 \quad B_{ce} = H_{ce} = \sqrt{\frac{3,82}{0,875}} = 2,09 \text{ cm} = 20,9 \text{ mm}$$

$$A_{ce} = 0,75 \cdot 20,9 = 15,7 \text{ mm}$$

Segundo o esquema o comprimento do canal de escória $L_{ce} = 2 \cdot L_{\text{modelo}}/2 + d + 2 \cdot X$

$$X = (2 \div 3) \cdot H_{ce}; \quad L_{ce} = 146 + 40 + 2(2 \div 3) \cdot 20,9 = 270 \div 311 \text{ mm} \quad \text{Tomamos } L_e = 290 \text{ mm}$$

O comprimento do modelo de um canal de ataque duplo no nosso caso

$$L_{ca} = 2 \cdot b_{\text{min}} + B_{ce} \quad L_{ca} = 2 \cdot 30 + 20,9 = 80,9 \text{ mm}$$

A área da secção transversal da coluna de vazamento: $F_{cv} = 1,6 \cdot 2,94 = 4,7 \text{ cm}^2$

O diâmetro menor da coluna de vazamento determinamos pela fórmula

$$D_{cv \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cv}}{\pi}} \quad D_{cv \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,7}{\pi}} = 2,45 \text{ cm} = 24,5 \text{ mm}$$

Tomamos o ângulo 2φ da coluna de vazamento de 4° .

Pois a massa da peça fundida é menor de 15 kg na entrada da coluna de vazamento vamos usar o funil. O diâmetro máximo do funil toma-se $D_{\text{funil}} = (2 \div 3) \cdot D_{cv}$. O ângulo 2φ do funil toma-se de $40 \div 60^\circ$. $D_{\text{funil}} = 2 \cdot 24,5 = 49 \text{ mm}$. Tomamos $D_{\text{funil}} = 50 \text{ mm}$.

O comprimento da coluna de vazamento junto com funil e canal de escória

$$L_{cv} = H = 100 \text{ mm}. \quad \text{O comprimento do funil calcula-se } L_f = (D_{\text{funil}} - D_{cv}) / (2 \cdot \text{tg}(\varphi)) \leq 3 D_{cv}$$

$$L_f \approx (52 - 24,5) / (2 \cdot \text{tg}20) = 37,8 \text{ mm}. \quad \text{O comprimento da coluna de vazamento}$$

$$L_{cv} = H - L_f. \quad H_{cv} = 100 - 37,8 = 62,2 \text{ mm}$$

Pois a peça bruta não tem as secções grossas e maciças não vamos usar os alimentadores. Para extrair gases da cavidade de trabalho, controlar o estado de preenchimento completo das cavidades e para compensar a contracção do metal, vamos fazer um respirador sobre parte média da cada peça bruta. O diâmetro menor do furo do respirador toma-se de 0,5 a 0,75 da espessura média de paredes. Tomamos $D_{r \text{ min}} = 10 \text{ mm}$. O comprimento do respirador $L_r = h = 68,5 \text{ mm}$, cone $2\varphi = 4^\circ$.

Agora já temos as dimensões de todos os elementos do sistema de gito e podemos calcular a sua massa e comparar com nossa escolha inicial.

$$\text{Para caso observado} \quad G_{sg} = (2 \cdot V_{ca} + V_{ce} + V_{cv} + 4 \cdot V_r) \cdot \gamma,$$

Onde V_{ca} – volume de um canal de ataque; V_{ce} – volume do canal de escória; V_{cv} – volume da coluna de vazamento; V_r – volume de um respirador; γ - densidade do material.

$$\text{O volume de um canal da secção transversal uniforme} \quad V_{canal} = F_{canal} \cdot L_{canal}$$

$$\text{O volume dum cone truncado} \quad V_{ct} = 0,5 \cdot \pi \cdot h \cdot (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2)$$

$$G_{sg} = (2 \cdot 0,736 \cdot 8,09 + 3,82 \cdot 29 + 4,7 \cdot 6,22 + 0,5 \cdot 3,1415 \cdot 3,78 \cdot (2,5^2 + 2,5 \cdot 1,23 + 1,23^2) + 4 \cdot 3,1415 \cdot 1^2 / 4) \cdot 7,8 = 1700 \text{ g}$$

$$G_{pf} = 4 \cdot G_{pb} + G_{sg}$$

$$G_{pf} = 4 \cdot 1214 + 1700 = 6556 \text{ g}$$

Recebemos a massa da peça fundida menor da massa tomada no início. O defeito de cálculo - $(7284 - 6556) / 6556 \cdot 100 = 11,1\% > 10\%$. Recalculamos os canais.

Canais de ataque:

$$F_{ca} = 2,94 \cdot 6556 / 7284 = 2,65 \text{ cm}^2$$

$$F_{ca1} = 2,65 / 4 = 0,66 \text{ cm}^2$$

$$B_{ca} = H_{ca} = \sqrt{\frac{0,66}{0,875}} = 0,87 \text{ cm} = 8,7 \text{ mm} \quad A_{ca} = 0,75 \cdot 8,7 = 6,5 \text{ mm}$$

$$L_{ca} = 2 \cdot 30 + 20,9 = 80,9 \text{ mm}$$

Canais de escória:

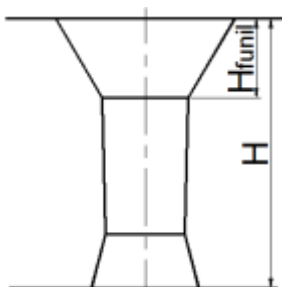
$$F_{ce} = 1,3 \cdot 2,65 = 3,45 \text{ cm}^2 \quad B_{ce} = H_{ce} = \sqrt{\frac{3,45}{0,875}} = 1,98 \text{ cm} = 19,8 \text{ mm}$$

$$A_{ce} = 0,75 \cdot 19,8 = 14,9 \text{ mm}$$

$$L_{ce} = 290 \text{ mm}$$

Coluna de vazamento:

$$F_{cv} = 1,6 \cdot 2,65 = 4,24 \text{ cm}^2$$



$$D_{cv \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,24}{\pi}} = 2,32 \text{ cm} = 23,2 \text{ mm}$$

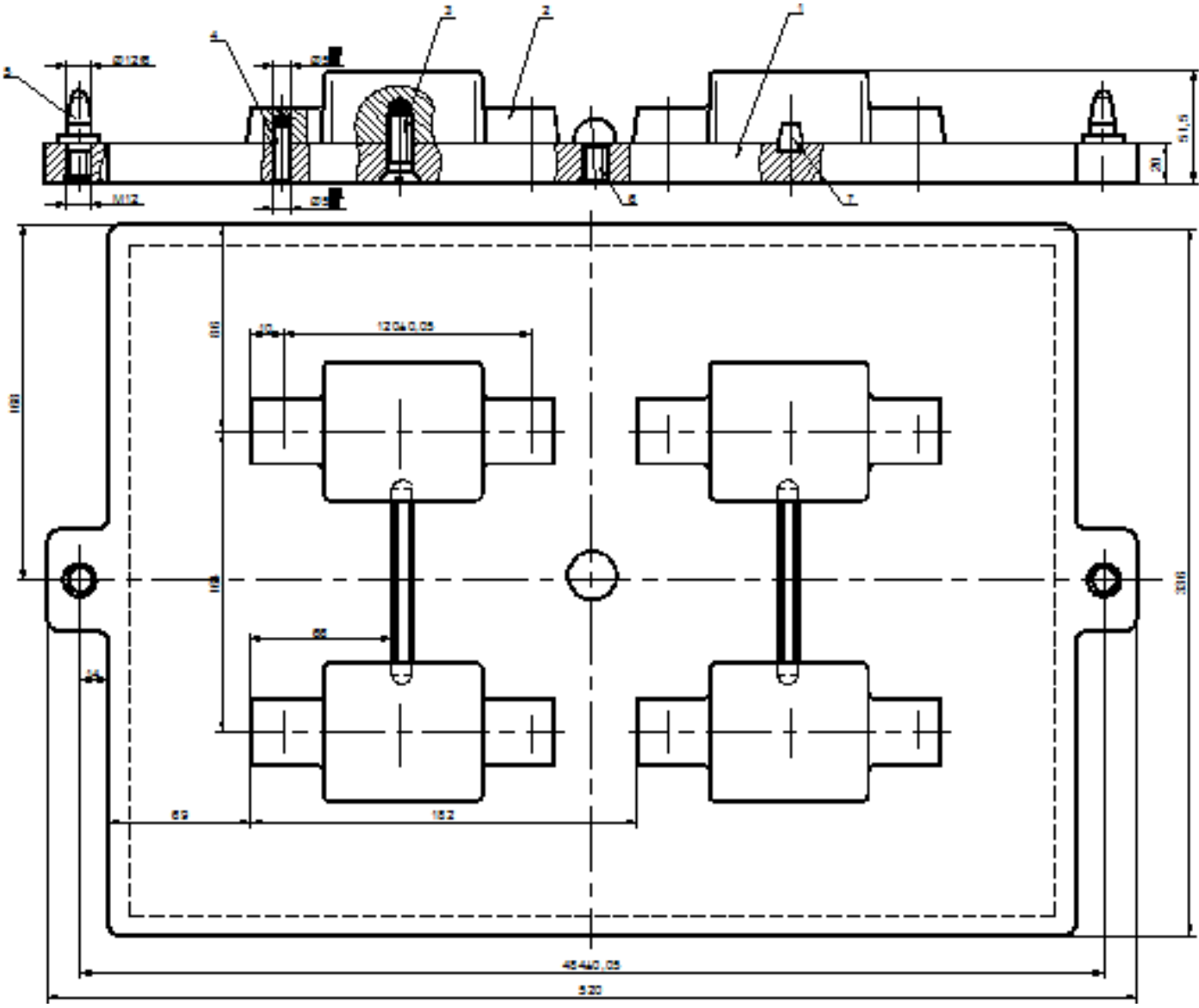
$$\text{Tomamos } D_{funil} = 46 \text{ mm}$$

$$H_f = (46 - 23,2) / (2 \cdot \text{tg}20^\circ) = 31,3 \text{ mm}$$

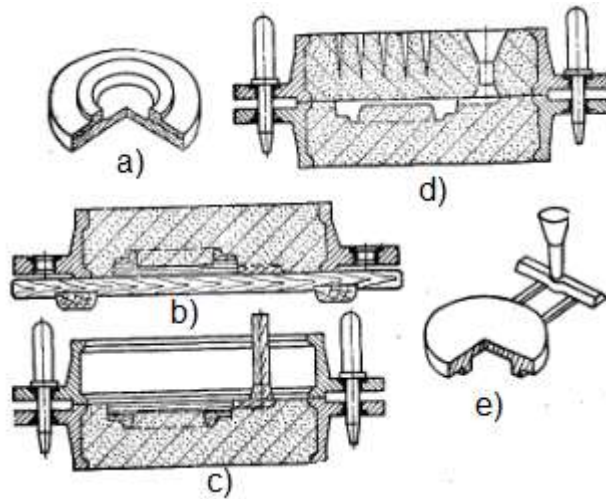
$$L_{cv} = H - H_{ce} - H_f$$

$$L_{cv} = 100 - 31,2 = 68,7 \text{ mm}$$

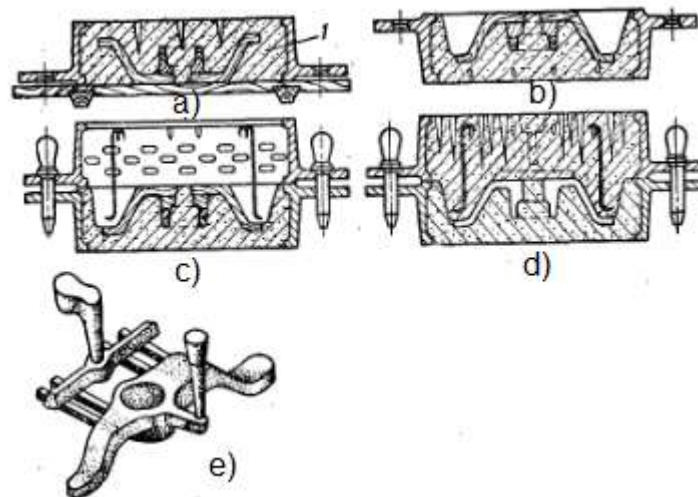
Desenho da placa de modelo do molde inferior



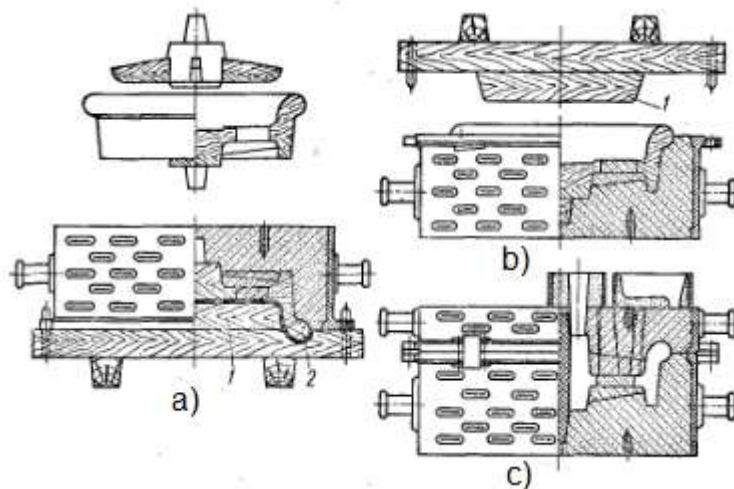
Exemplos dos moldes



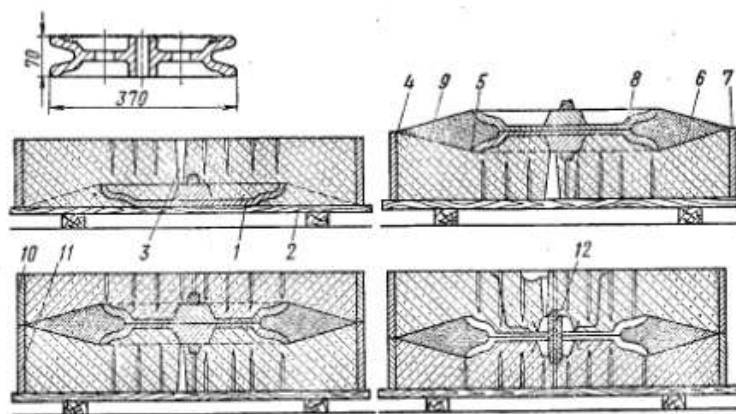
Modelo inseparável na caixa inferior



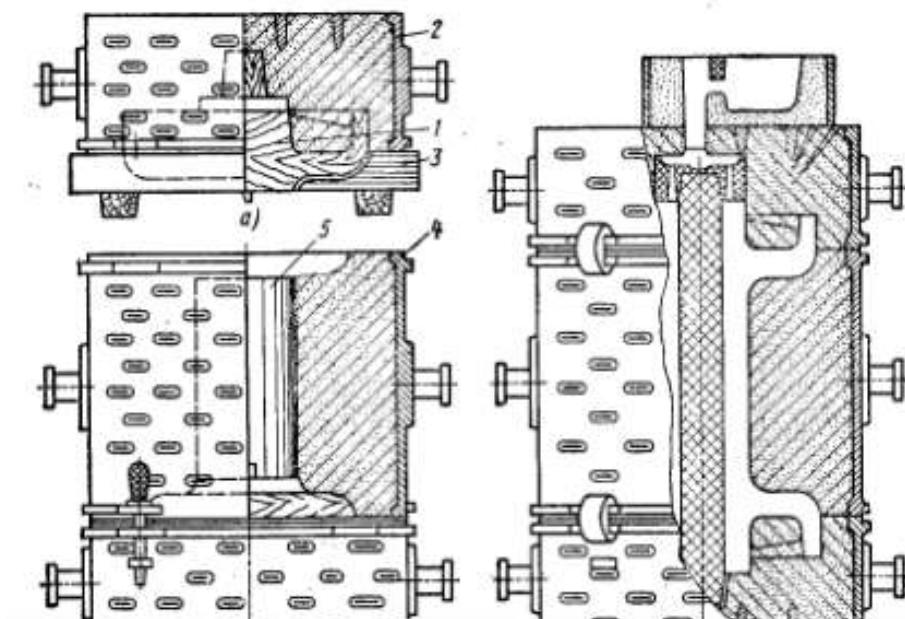
Modelo inseparável na caixa inferior, superfície de separação perfilada



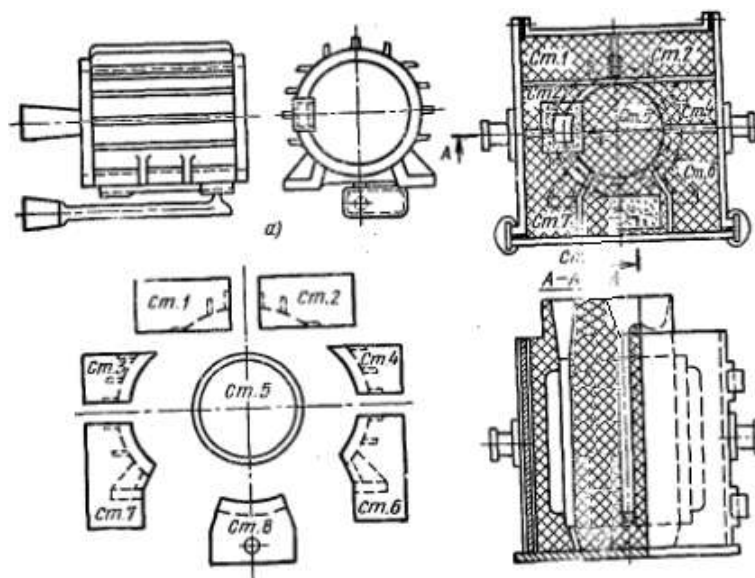
Placa de moldação perfilada



Modelo bipartido, elemento intermediário



Molde de 3-s caixas e 2-s superfícies de separação



Molde de machos

Componentes das misturas de fundição e para machos

Areias, graus de tamanho maior de 22 μm , até alguns mm:

- Areias de quartzo (90÷97% de SiO_2 ; 2,5÷2,8 g/cm^3 ; $t_f = 1713\text{ }^\circ\text{C}$);
- Areia de zircónio (ZrSiO_4 ; $t_f = 2400\text{ }^\circ\text{C}$; para machos, revestimentos, tintas de coquilhas);
- Silicato magnésica (Mg_2SiO_4 ; $t_f = 1750\div 1830\text{ }^\circ\text{C}$);
- Cromita ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$; $t_f = 1450\div 1850\text{ }^\circ\text{C}$);
- Marnesita (MgCO_3 ; $t_f = 2800\text{ }^\circ\text{C}$)

Designações das areias pela quantidade das areias: **K** – de quartzo, < 2% de argila; **T** – magra, de 2÷10% de argila; **П** – semi-gorda, de 10÷20% de argila; **Ж** – gorda, de 20÷30% de argila; **ОЖ** – muito gorda, de 30÷50% de argila;

Aglutinantes

Argilas, têm mais de 50% dos graus de tamanho menor de 22 μm , , componente principal - Al_2O_3 , contem também SiO_2 , H_2O , e outros:

- Caolina (argila branca) - $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$; designa-se - K;
- Bentonita (argila coloidal, contem > 70% de montmorilonita - $\text{Na}(\text{Mg},\text{Al})_2$); designa-se – M.

Grupo	Resist. específica		Classe A		Classe B		Classe C	
	kgf/cm ² -1%	kN/m ² -1%	Tipo de endurecimento	Aglutinante	Tipo de endurecimento	Aglutinante	Tipo de endurecimento	Aglutinante
I	> 5	> 490	Irreversível	A-1 Óleo de linhaça cozido П, ПП, ППА, КО, ПК-104 ПС-1, 4ГУ (в)	Irreversível	B-1 МФ-17, М, МСВ, СМ-1, НАК	Intermediário	B-1 Vidro líquido
II	3—5	294—490	Intermediário	A-2 4ГУ (в), ГТФ, ЗИЛ, ДП, БК, СЛК	Intermediário	B-2 СП, СБ, КТ, КВ, КВС Dextrina, cola de pectina		B-2
III	< 3	< 294	Reversível	A-3 Piche de madeira БТК Colofónia	Reversível	B-3 Melaço, madre de sulfato e álcool	Reversível	B-3 Cimento Argila

Outros componentes: grafita, ulha, carvão, pó de quartzo, talco - $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; mica; alcatrão, amianto, piche de madeira, serradura, água, etc.

Escolha da mistura de fundição e para machos

Propriedades e composição das misturas de fundição dos Ferros Fundidos

Destino da mistura	Peças fundidas		Propriedades da mistura				
	Massa, kg	Espessura das paredes, mm	Componente granuloso	Qtd. comp. argiloso, %	Permiabilidade gasosa	Limite de compres. no estado úmido, kgf/cm ²	Umidade %
Vazamento em molde úmido	≤ 20	10-25	01A-016A	8-10	25-50	0,30-0,50	4,0-5,5
	20-200	25-40	016A-02B	7-10	40-70	0,30-0,50	4,0-5,5
	200-1000	40-50	02B; 02A	9-12	60-100	0,40-0,60	4,5-6,0
	1000-5000	> 50	02A; 0315A	11-13	100-200	0,50-0,80	5,0-7,0
Vazamento em molde seco	≤ 100	—	02A; 0315A	12-14	60-80	0,50-0,80	6,0-7,0
	> 100	—	0315B; 04A	12-16	80-100	0,50-0,80	6,0-8,0
	≤ 2000	≤ 30	0315B; 02A	12-14	70	0,50-0,65	7,0-8,0
	2000-15 000	> 30	04A; 0315B	14-16	70	0,65-0,80	7,0-8,0
Vazamento em molde seco das peças pesadas perfiladas	10 000-30 000	≤ 60	04A; 0315B	—	—	Limite De rutura no estado seco 1,5-2,5	12-16
Composição da mistura, em % pela massa							
Destino da mistura	de acabamento				única		
	Mistura usada	Material novo	Ulha	Serradura	Mistura usada	Material novo	Ulha
Vazamento em molde úmido	78-59	20-38	2-3	—	96,5-94,5	3-5	0,5
	75-45	22-51	3-4	—	94,3-92,3	5-7	0,7
	70-40	26-55	4-5	—	91,0-86,8	8-12	1,0-1,2
	60-40	34-52	6-8	—	—	—	—
	60-40	34-52	6-8	—	—	—	—
Vazamento em molde seco	70-40	27-57	—	3	—	—	—
	60-35	37-62	—	3	—	—	—
	60-50	28-40	—	10-12	—	—	—
	50-40	38-50	—	10-12	—	—	—
Vaz. seco das peças pesadas perfiladas	20	27 20	—	13	—	—	—

Propriedades e composição das misturas de fundição dos aços

Tipo de mistura	Peças fund.		Propriedades das misturas					Compos. misturas, % massa			
	Massa, kg	Es-pess, mm	Mater. granuloso	% mat. argiloso	Permiab gasosa	Limite de compres. kgf/cm ²	Umida-de, %	Mist. usada	Ulha	Argi-la	Madre sulfata
Única, para vazam. úmido	≤ 100	≤ 25	016A 02B 02A	8-10	80-100	0,30-0,50	3,4-4,5	92-90	6,5-8,0	-	1,5-2,0
De revestim., vazamento em molde úmido	≤ 100		016A 02B 02A	8-10	80-100	0,30-0,50	3,5-4,5	80-90	16,5-53,0	3-6,5	≤ 5,0
	100-500		02B 02A	10-12	100-120	0,40-0,60	4,0-5,0	75-40	20,5-51,5	4-8	
	> 500		02A 0315B	11-13	100-130	0,50-0,70	4,5-5,5	60-40	33,5-51,0	6-8,5	
De revestim., vazamento em molde seco	≤ 5000	≤ 50	02A	12-14	70-100	0,50-0,70	5,0-7,0	80-40	15,5-50,5	4-9	Areia e argila - 100%
	≤ 10 000	≤ 50	0315B 02A	12-15	He se- nee 81	0,80-1,20* 0,55-0,65	6,0-7,0				
	10 000- 30 000	≤ 80	0315B 02A	12-15	He se- nee 50	0,55-0,65	6,0-7,0	Pó de quartzo - 20%. Areia e argila - 80%			
Para peças propensas as fissuras quentes	-	≤ 80	02A 0315B	12-14	70-100	0,35-0,60	5,0-7,0	80-40	12,5-45,5	4-9	2,4-1,5

Propriedades e composição das misturas de fundição de secagem rápida

Destino da mistura	Permiabilid. gasosa	Limite de resistência, kgf/cm ²		Umida-de, %	Composição da mistura, % massa			
		de compres-são, molde úmido	rutura molde seco		Mistu-ra usada	Areia	Argila	Aglutinante
Para ferro fundido	100	0,25-0,35	3,8	4-5	48-45	3K02A 48-50	4-5	СП или СБ 2,5-3,0
	60	0,30-0,40	3,0	4-5	50-48	3K02 49-50	1,5-2	КТ 1,5-2,0 Madre de sulfata 1,0-1,5
Para ferro fundido e aço	100	0,15-0,30	7-12	2,4-3,0	-	2K02A	5-8	Vidro líquido 5,0-5,5 Alcatrão 0,5
	100	0,20-0,35	4-15	3-5	40	1K02A 55, Pó de quartzo 5	-	Vidro líquido 6,0 Alcatrão 0,3

Propriedades e composição das misturas para machos

Classe de macho	Propriedades						
	Permiabilidade gasosa	Umidade, %	Limite de resistencia, kgf/cm ²				
			de compressão mistura úmida		de ruptura, mistura seca		
I	130	1-3	0,03-0,06		7-10		
II	100	2-4	0,05-0,1		5-7		
III	100	3-4	0,1-0,16		3,5-6,0		
IV	70	4-5	0,15-0,25		2-3		
V	70	5-6	0,2-0,35		0,8-1,5		
	Composição, % massa						
	Materiais principais			Aglutinante			Serradura
	Areia 1K02A	Argila	Mistura usada	Classe A-1, A-2	Piche de madeira KT, CII, CB	Madre de sulfata	
I	100	—	—	1,0-1,5	—	—	—
II	100-97	0-3	—	2,0-3,0	—	2-3	—
III	100-96	0-4	0-1	—	3-6	1-3	—
IV	93-59	7-1	0-40	—	—	2-3	0-2
V	72-38	8-2	20-60	—	—	2-3	0-3

Notas. 1. Em vez da argila de caolina utiliza-se bentonite ou areias gordas
 2. Para peças de ligas coloridas utilizam-se os componentes da mistura mais finos

Composição da mistura para fabricação dos machos nas caixas quentes, % massa

Material da peça	Areia		Aglutinante BP-1 или ФФ-1С	Farinha de madeira	Óxido ferroso	Grafite praneado	Fluorborato amoníaco
	1K02A/B	1K01A/B					
Aço	100	—	3,0-3,5	—	1,0	—	—
Ferro fundido	100	—	3,0-3,5	—	0,7	0,1	—
Liga de cobre	70	30	3,5-4,0	—	—	0,2	—
Liga de alumínio	70	30	2,7-3,2	0,75	—	0,2	—
Liga de magnésio	70	30	3,0-3,5	0,75	—	—	1,5

Notas. 1. Farinha de madeira impregna-se com silicato de sódio
 2. Fluorborato do amoníaco utiliza-se como desoxidante

Misturas para fundição das ligas de cobre

Liga	Composição, %					Propriedades			
	Areia		Mistura usada	Aditivos	Aglutinante ПС	Umidade %	Limite de compressão, kg/cm ²		Permeabilidade gasosa
	Π02А (Б)	Π01					Umida	Seca	
	Mistura de fundição								
Bronze	10,4	9,0	80,6	—	—	4,0—5,0	0,5—0,6	—	74
Latão	—	6,0	89,2	4% pó de carvão	—	4,0—5,0	0,5—0,6	—	74
	Mistura para machos								
Latão	96,0	11,4	—	2,3% madre de sulfato	0,1	3,5—4,5	0,06—0,08	5,0—7,0	60
Bronze	98,9	—	—	—	1,14	3,5—4,5	0,03—0,05	4,0—6,0	90

Misturas de fundição das ligas de alumínio

Design. mistura	Composição						Umidade, %	Permeabilidade a gás	Limite de compressão a mist. umida kg/cm ²
	Mistura base		Mistura de trabalho		Mistura nova				
	Componentes	Quantidade, % de massa	Componentes	Quantidade, % de massa	Componentes	Quantid., % massa			
Φ-I	Areia Π01 ou Π003A Areia K016A ou K01A	95—90 5—10	Usada Nova	85—97 15—3	Areia Π01 A Areia K016A	70 30—20	4,5—5,5	45—60	0,4—0,7
Φ-II	Areia Π016A ou Π01A, ou Π003A Areia K02B ou K01B, ou K01A	95—90 5—10	Usada Nova	85—97 15—3	Areia Π01A Areia K02B	30—60 70—40	4,0	80—90	0,4—0,8
Φ-III	Areia K02B ou K016A, ou K01A Areia 1KPC ou KPM Argila bentonite	63—45 30—50 5—7	Usada Nova	85—97 15—3	Areia K02B ou K01A Argila bentonite Areia 1KPC Argila bentonite	63—45 30—50 7—5 93—95 7—5	2,5—3,5	50—120	0,4—0,8

Composição das misturas para machos da I classe, % pela massa

Mistura	Areia		Ligante				Materiais adicionais	
	K02	K01	4FY	M. M-2	Cola de pectina	Solução PVC (10-20%)	Pó de quarco	Água-rás ou quero-sana
1	100	—	—	1,0-1,5	0,5-1,5	—	—	0,25
2	80-70	20-30	—	1,5-2	0,5-1	—	—	0,25
3	100	—	1,5-2,5	—	—	—	—	—
4	100	—	1,5-2,5	—	—	1,5-2	—	—
5	97-95	—	—	—	—	3-6	3-5	—

Propriedade das misturas para machos

Propriedade	Grupo do macho		
	I	II	III
Permeabilidade do gás no estado úmido até	100	80	45
Umidade, %	2,5-5	2-5	2-6
Limite de compressão no estado úmido, kgf/cm ²	0,03-0,07	0,06-0,15	0,06-0,15

Misturas para fundição das ligas de magnésio

Tipo da mistura	Granulosidade de areia	Areia	Argila	Mistura usada	Aglutinante e outros	Propriedades das misturas			
						Permeabilidade do gás	Limite de compressão, kgf/cm ²	Limite de ruptura no estado seco, kgf/cm ²	Umidade %
De fundição, única	0,1-0,063	5-10 П01А	—	90-50	4-8 Aditivo de fluor	20-40	0,4-0,8	—	5,0-6,5
Para machos de complexidade média	0,2-0,16	90-95	5-10	—	2-3 Madre de sulfato	90	0,6-1,0	30-50	3,0-4,0
Para machos de complexidade elevada	0,2-0,1	90-100 П01А	0-10	—	1,0-1,5 (4FY e Madre de sulfato) 0,5-1,0 Enxofre 0,25-0,5 Ácido bórico	80	0,6-1,5	40-70	2,5-5,5

Composição das tintas para moldes de areia e machos das peças de ferro fundido, % de massa

Tinta	Pó de quarço	Cola de pectina	Ben- tonita	Gra- fita	Co- que	Talco moído	Água	Densi- dade, g/cm ³
ГБ	—	3,0	3,4	53,4	—	—	40,0	1,30—1,35
КПГ	34	3,4	3,7	17,0	17	—	24,7	1,30—1,35
КПГУ	34	3,4	3,7	9,0	17	—	23,7	1,35—1,45
ТБ	—	—	4,0	—	—	61	35	1,40—1,45
ТГ	—	—	3,0	30,0	—	31	33	1,40—1,45

Notas. 1. Às tintas GB, KPG e KPGU adicionam 0,2% sabão nafténico; 2. Na cola TG cola de pectina substitui-se à 3% melação; 3. Tinta TB utiliza-se para peças de ligas de alumínio, tinta TG - de cobre

Composição da tinta para moldes de areia e machos para peças de aço, % massa

Tinta	Pó de quarço	Bento- nita	Sabão nafté- nico	Água	Aglutinante	Densidade, g/cm ³
CT	72	1,65	1,25	18,0	Cola de pectana - 7,1	1,40—1,50
CT-1	72	3,0	0,5	14,0	Lixivia de sulfato - 10	
CT-2	78	3,0	0,5	15,0	Dextrina - 3,5	1,50—1,55
CT-3	76	3,0	0,5	8,5	Melaço - 12	
CT-4	76	3,0	0,5	8,5	Madre sulfato-12	

Composição dos revestimentos de coquilhas

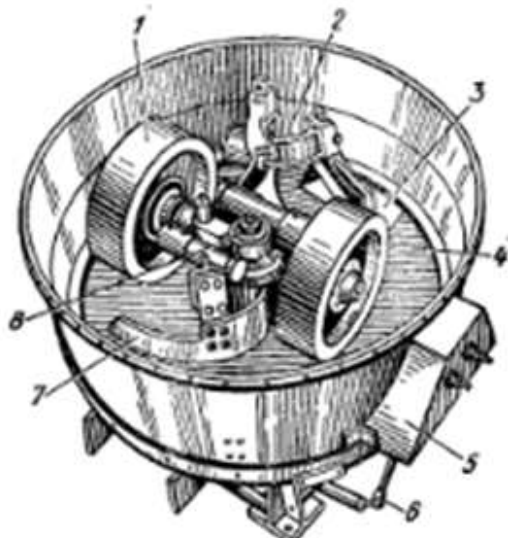
Tipo do material	Componentes	Quantidade, % massa	Coefficiente de condução térmica kcal/(m.h.°C)
Ligas de alumínio	Óxido do zinco Asbesto calcinado Vidro líquido Água	9,0 28,0 6,0 57,0	0,23
Ligas de magnésio	Talco Ácido bórico Vidro líquido Água	8,6 3,2 2,7 82,5	0,18
Ferros fundidos	Grafita Carvão Argila Água Densidade	35—30 20—25 25—20 20—25 1,25—1,3 r/cm ³	—

Composição das tintas para coquilhas

Tipo de liga		Qtd, g	Notas
Liga de Al	Óxido do Zn Grafita coloidal Água	50 10 1000	Adiciona-se por pulverização na superfície da coquilha a 200 °C
	Giz moído Vidro líquido Grafita Água	150 40 80 1000	
Liga de Mg	Talco Ácido bórico Vidro líquido Água	100 65 35 1000	
Ferro fundido	Pó de quartzo Vidro líquido Água	100 50 1000	Adiciona-se por pulverização na superfície da coquilha a 200 °C, espessura 0,2-1 mm, depois camada de fuligem

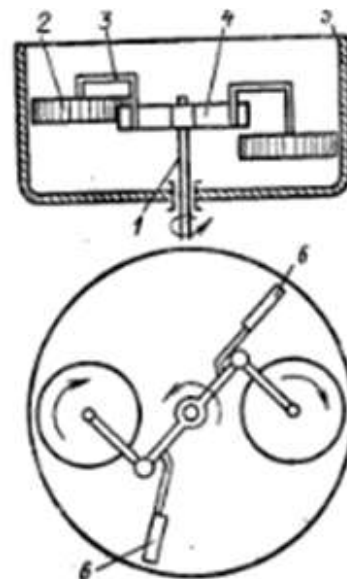
Escolha do equipamento

Misturadores da mistura de fundição



Misturador de mos verticais

1 e 4 - rolos; 2 e 7 - pás; 3 – janela no fundo; 5 – invólucro; 6 – puxador; 8 –






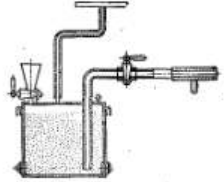

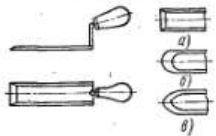
Esquema do misturador centrífugo

Spray da tinta



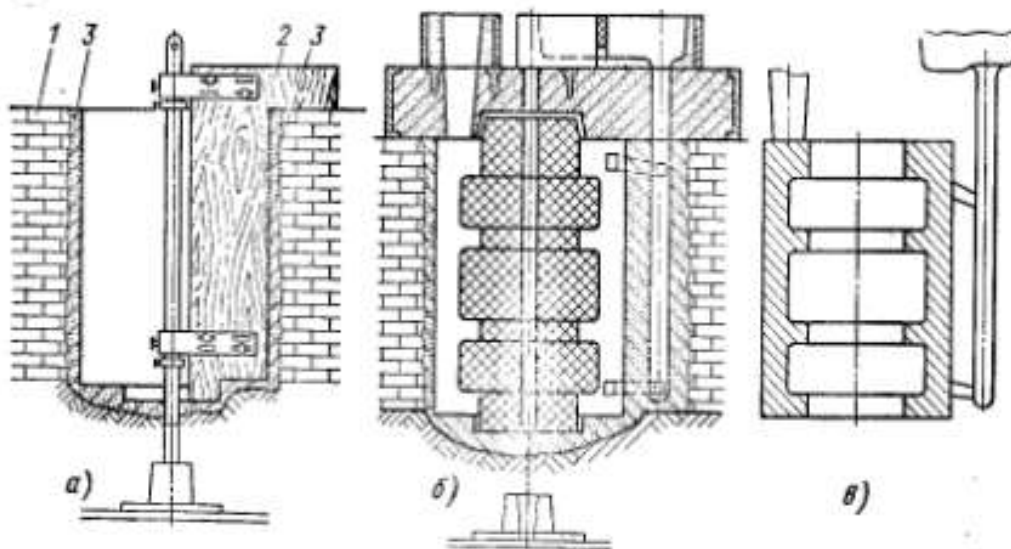
Escolha das ferramentas de moldação

Формовочный инструмент	
Инструмент и его назначение	Инструмент и его назначение
<p style="text-align: center;"><i>Ватерпас</i></p>  <p>Для выверки опок, установки реек при почвенной формовке и т. п.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Длинные трамбовки</i></p>  <p>Для уплотнения крупных форм, почвенных и расположенных на полу. Клиновидными трамбовками уплотняют смесь около стенок опоки, около модели, в узких местах; плоскими трамбовками уплотняют верхние слои формы</p>
<p style="text-align: center;"><i>Круглое сито</i></p>  <p>Для просеивания формовочной смеси, в частности при нанесении облицовки на модель, ячейки сит имеют разные размеры, диаметр сит 400—500 мм</p>	<p style="text-align: center;"><i>Пневматические трамбовки</i></p>  <p>Для ручной формовки, а также подтрамбовки на формовочных машинах. Наконечники у такой трамбовки сменные — клиновые или плоские</p>
<p style="text-align: center;"><i>Лопата</i></p>  <p>Для выкапывания ям почвенных форм, а также для подсыпки смеси в опоки</p>	<p style="text-align: center;"><i>Вентиляционные щели (душники)</i></p>  <p>Для выполнения искусственных газоотводных каналов в формах и стержнях</p>
<p style="text-align: center;"><i>Трамбовки</i></p>  <p>Для уплотнения смесей в опоках или стержневых ящиках при работе на верстаке. Трамбовка <i>а</i> — деревянная, <i>б</i> — чугунная. Иногда делают трамбовки с резиновыми наконечниками, что предохраняет модель от поломок</p>	

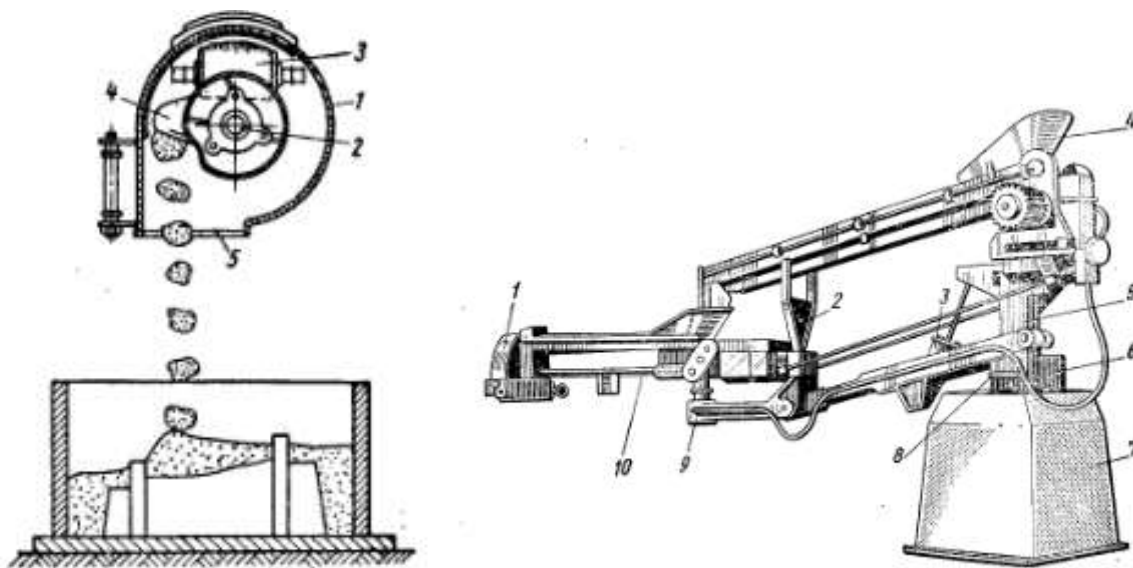
Инструмент и его назначение	Инструмент и его назначение
<p style="text-align: center;"><i>Деревянные молотки</i></p>  <p>Для расталкивания модели при ее выемке и стержневого ящика перед удалением из него стержня</p>	<p style="text-align: center;"><i>Пульверизаторы</i></p>  <p>Для поверхностного увлажнения формы перед ее отделкой, а также для нанесения противоспригтерных покрытий (красок), растворов для упрочнения поверхности форм и стержней</p>
<p style="text-align: center;"><i>Крючки (подъемы)</i></p>  <p>Для извлечения модели или ее отдельных частей из формы</p>	 <p>Для нанесения толстого слоя огнеупорного покрытия на рабочую поверхность формы и стержня</p>
<p style="text-align: center;"><i>Кисточка</i></p>  <p>Для смазывания формы по контуру модели перед извлечением последней, а также в некоторых случаях поврежденных мест перед их исправлением</p>	<p style="text-align: center;"><i>Гладилки</i></p>  <p>Для отделки форм лезвия гладилок делают прямоугольными (<i>а</i>), закругленными (<i>б</i>), заостренными (<i>в</i>)</p>

Инструмент и его назначение	Инструмент и его назначение
<p><i>Ланцеты (карасики)</i></p>  <p>Для отделки форм и стержней</p>	<p><i>Ложечки</i></p>  <p>Для отделки и ремонта форм и стержней</p>
<p><i>Формовочные крюки</i></p>  <p>Для отделки и ремонта форм</p>	<p><i>Полозки</i></p>  <p>То же</p>
	<p><i>Пневматические сопла</i></p> <p>Для удаления пыли и мусора из формы</p>

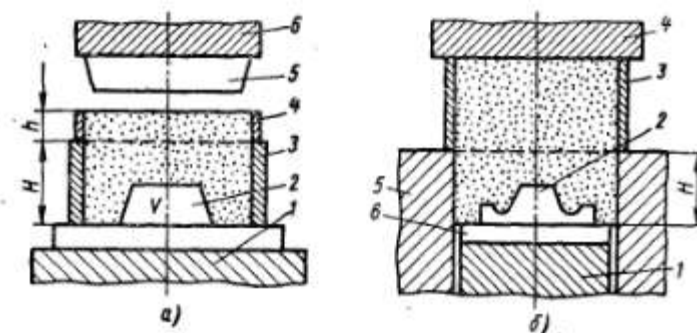
Moldação por meio de escantilhões



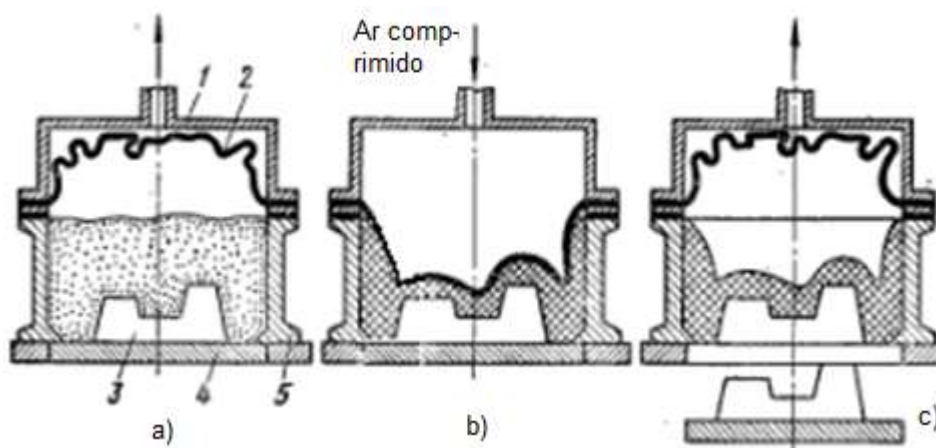
Lançadores de areia



Compactação da mistura de moldação nas prensas

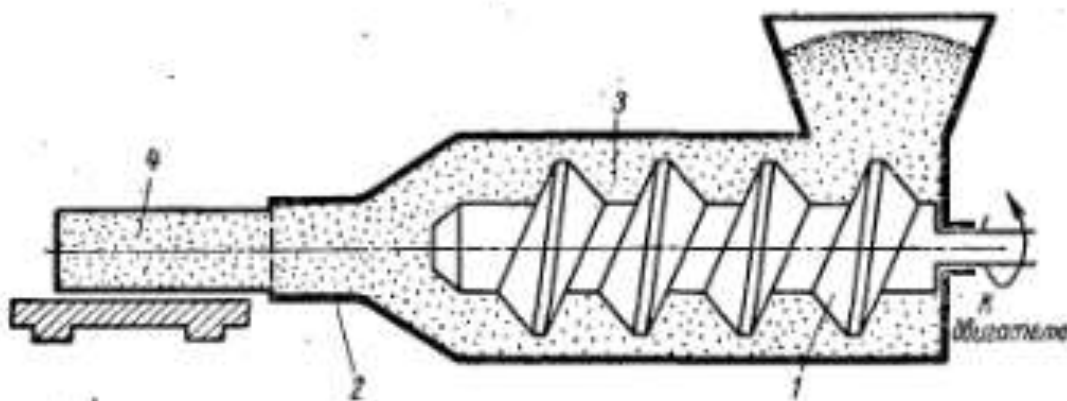


Esquemas de compressão de cima e de baixo numa prensa

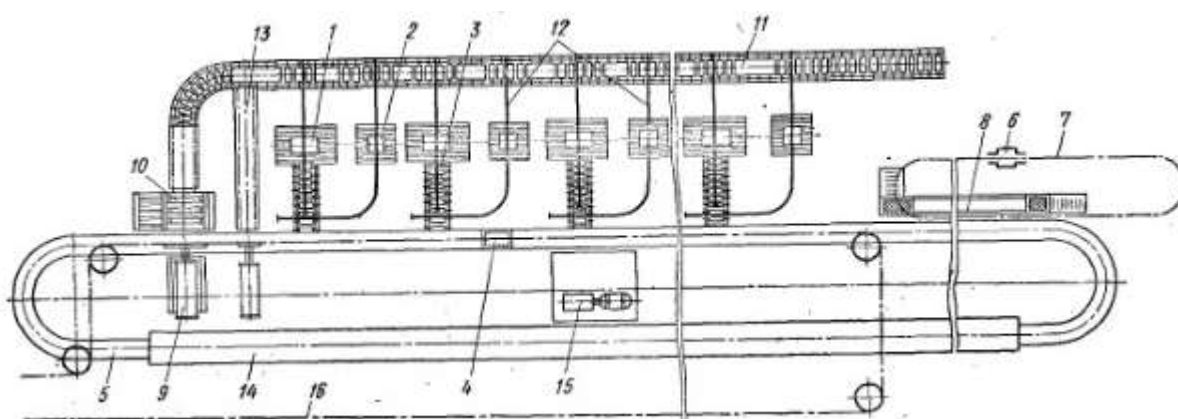


Compressão por meio de ar comprimido e diafragma

Esquema de fabricação dos machos



Linha automática de fundição



Secagem dos moldes e dos machos

Duração da secagem dos moldes de areia de fundição, h

Gabarites das caixas de moldagem, mm	Peças fundidade	
	de ferro fundido e ligas coloridas	de aço
$\leq 500 \times 400 \times 250$	4—6	6—8
$\gg 1000 \times 800 \times 400$	6—8	8—12
$\gg 3000 \times 2000 \times 500$	8—12	12—16
$\gg 5000 \times 3000 \times 700$	12—24	16—24
$> 5000 \times 3000 \times 700$	24—36	24—36

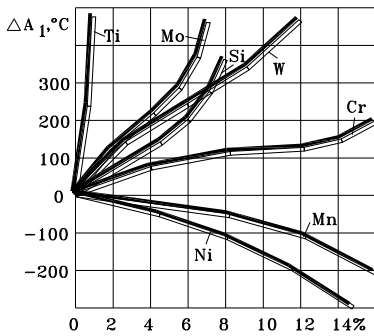
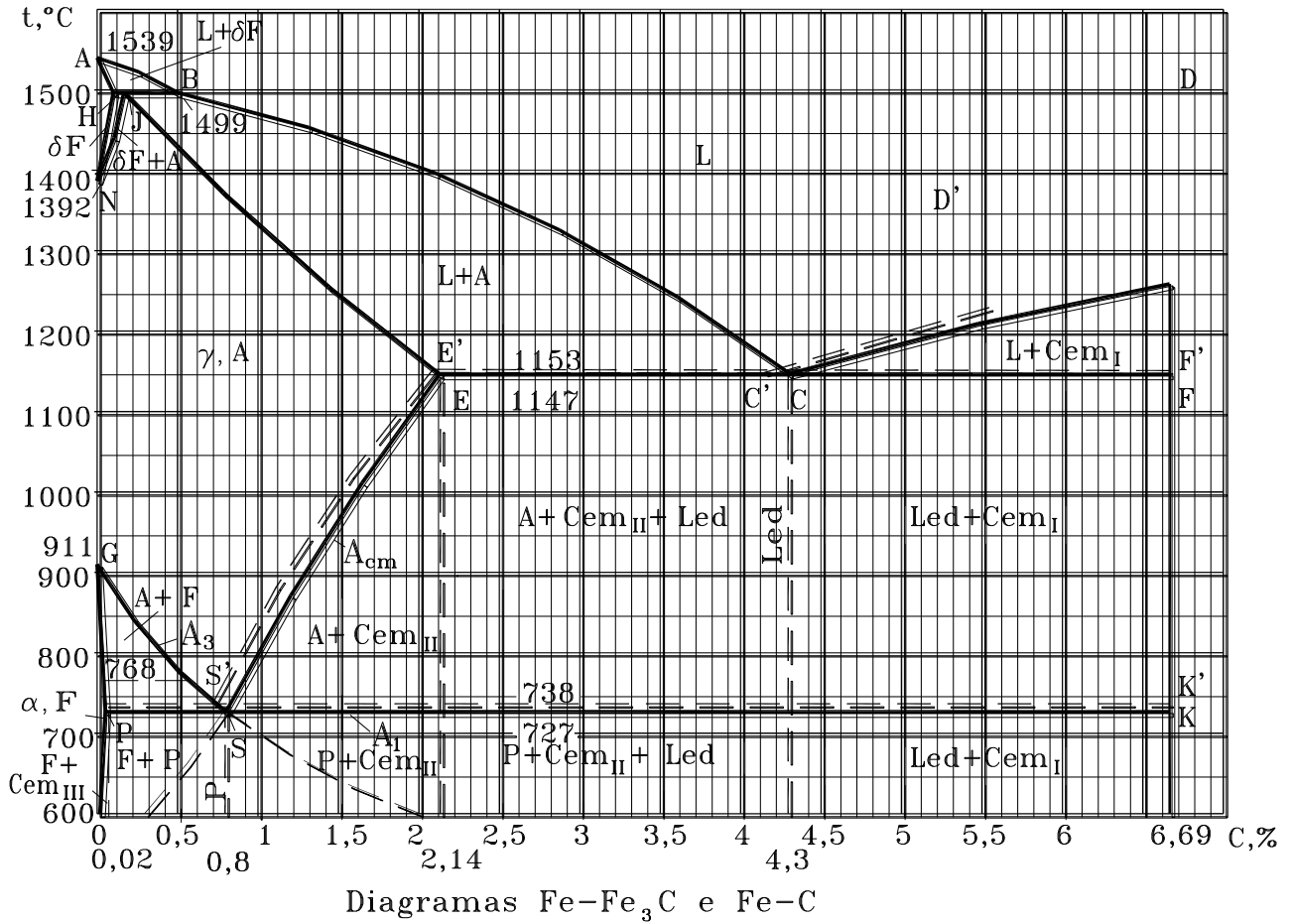
Duração da secagem dos machos, h

Aglutinante	Temperatura de secagem, °C	Duração da secagem em h dos machos com espessura de paredes em mm		
		100	100—200	200
Orgânico	160—240	0,75—1,5	1,5—3,0	3,0—7,0
Argila	300—350	1,0—2,0	2,0—5,0	5,0—24,0
Vidro líquido	200—250	0,75—1,0	1,0—2,0	2,0—5,0
Resina reactoplástica	300—400	0,3—0,75	0,75—1,5	—

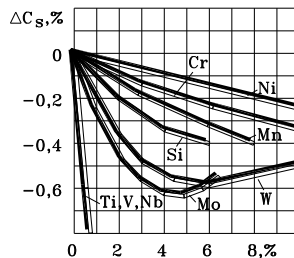
Determinação da temperatura de aquecimento das ligas

Temperaturas de vazamento do ferro fundido

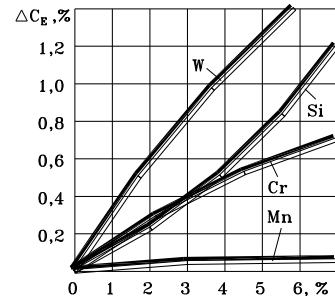
Ferro fundido	Espessura de paredes, mm	Temperatura de vazamento, °C	Ferro fundido	Espessura de paredes, mm	Temperatura de vazamento, °C
Cinzento e esperoidal	≤ 4	1450—1360	Maleável	≤ 4	1480—1450
	4—10	1430—1340		4—10	1450—1380
	10—20	1400—1320		10—20	1430—1360
	20—50	1380—1300	De liga rica	—	1300—1270
	50—100	1340—1250		Ferro silido de Mn não magnetico	—
100—150	1300—1230				
	> 150	1280—1220			



Variação da temperatura A₁ em função do teor dos elementos de liga



Variação do teor de carbono na eutectóide em função do teor dos elementos de liga



Variação do teor de carbono do ponto E do diagrama Fe-Fe₃C em função do teor dos elementos de liga

$$A_{1L} = 727 + \sum \Delta A_{1i} \qquad C_{SL} = 0,8 + \sum \Delta C_{Si}$$

$$A_{3L} = A_3 + \sum \Delta A_{1i} + 230 \sum \Delta C_{Si}$$

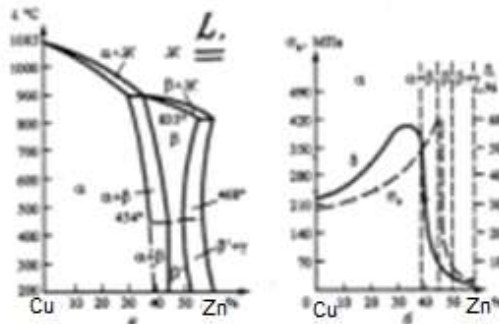
$$A_{cmL} = A_{cm} + \sum \Delta A_{1i} - 314 \sum \Delta C_{Si} \quad - \text{para } C_L > 0,8$$

$$A_{cmL} = A_{1L} + 314(C_L - C_{SL}) \quad - \text{para } C_{SL} < C_L < 0,8$$

Diagramas do estado dos materiais não ferrosos

Ligas de Cu

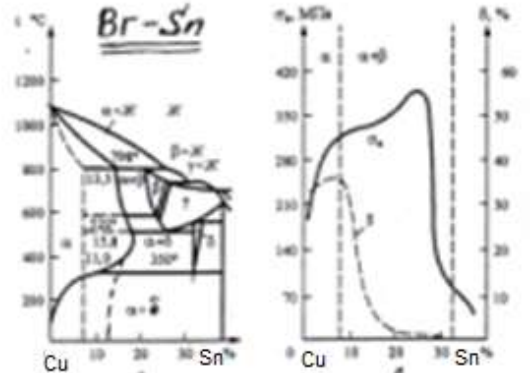
Latões



$\alpha = Cu(Zn)$; $\beta = Cu_2Zn$; $\gamma = Cu_5Zn_8$
 $Zn_{eq} = Zn + 10Si + 3Al + 2(Sn + Mg) + Pb + Fe + 0,5Mn - 1,5Ni$

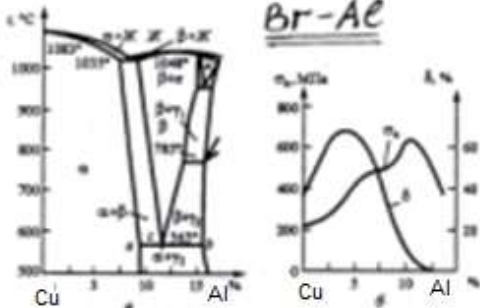
Bronzes

Br-Sn



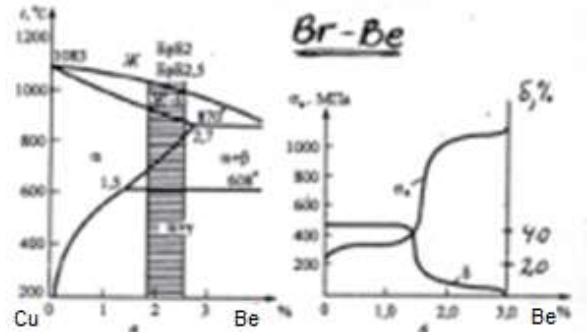
$\alpha = Cu(Sn)$; $\beta = Cu_5Sn$; $\delta = Cu_3Sn_8$

Br-Al



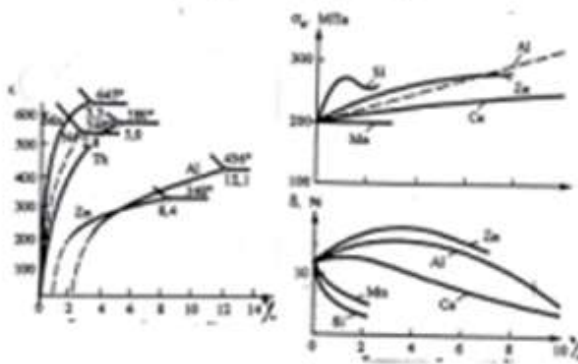
$\alpha = Cu(Al)$; $\beta = Cu_2Al$; $\gamma = CuAl$

Br-Be

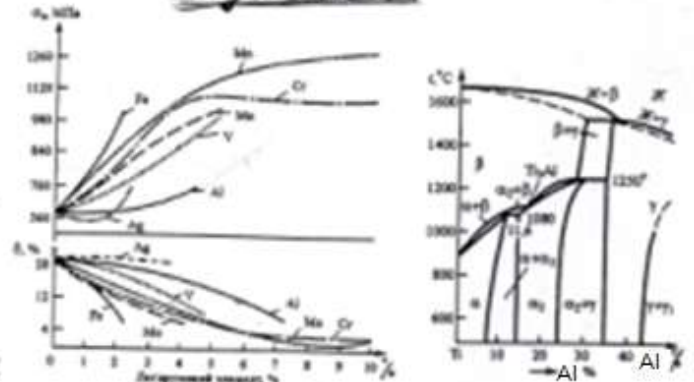


$\alpha = Cu(Be)$; $\gamma = CuBe$

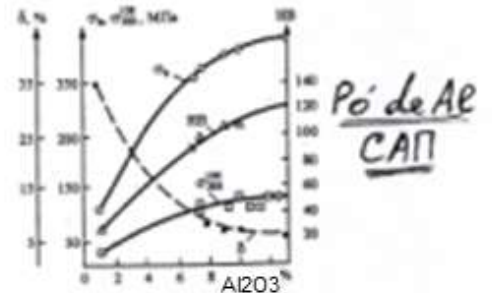
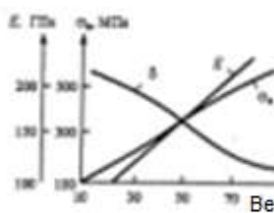
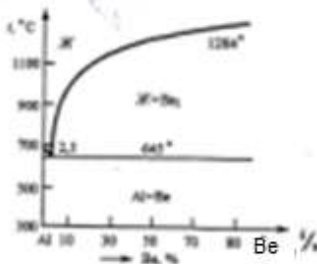
Ligas de Mg



Ligas de Ti



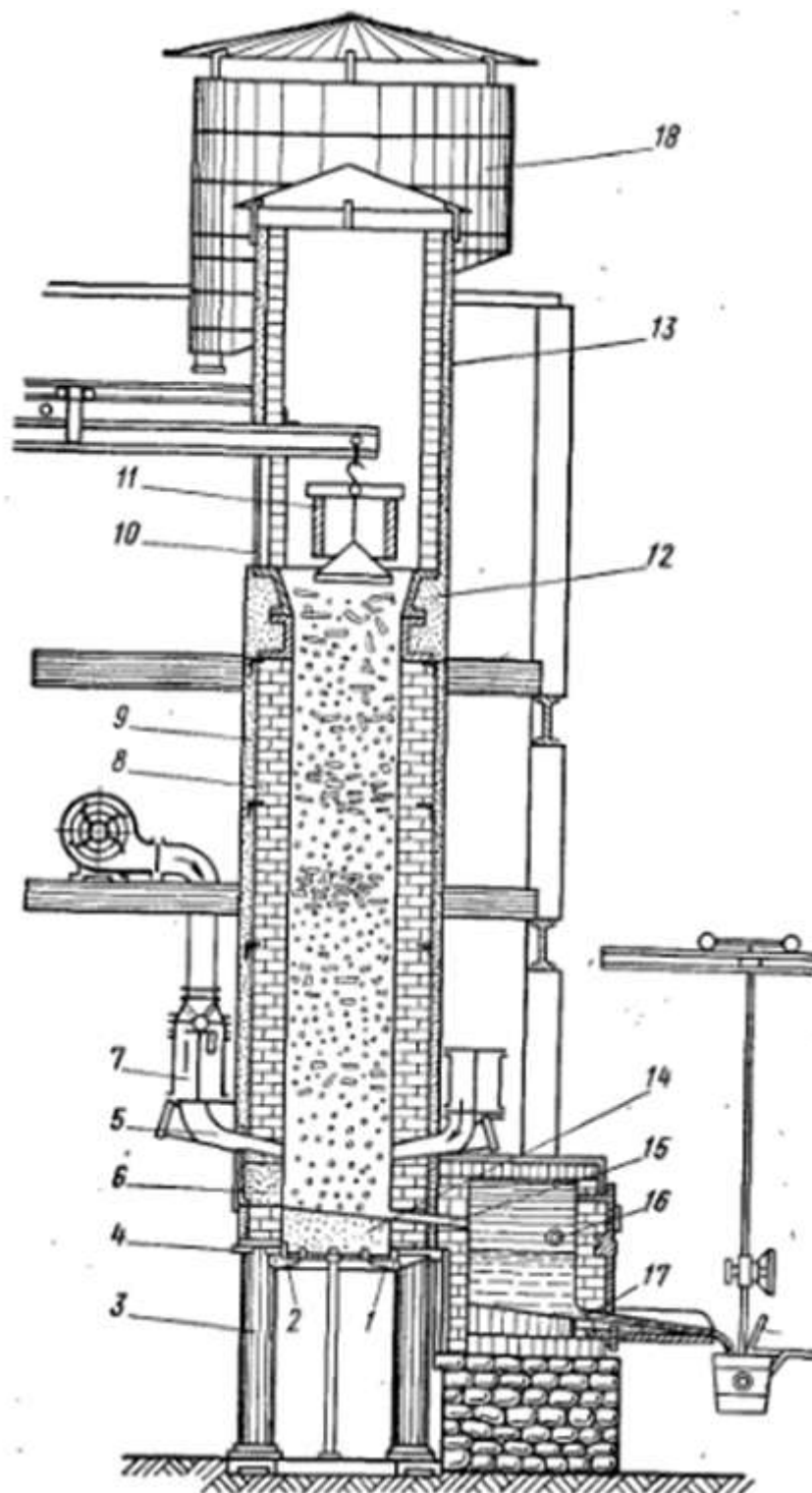
Ligas de Be



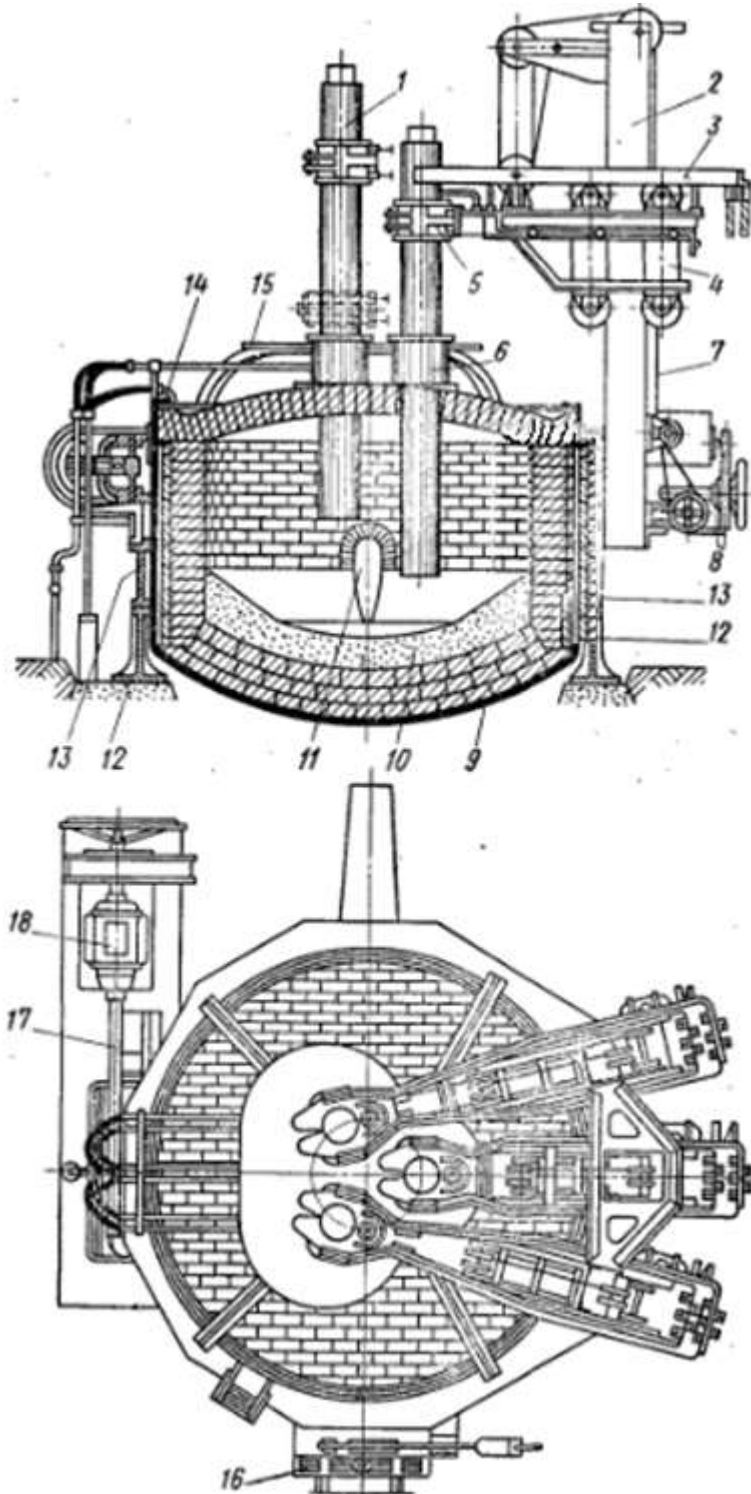
Pó de Al
 CAP

Equipamento para fusão das ligas

Construção do Cubelote

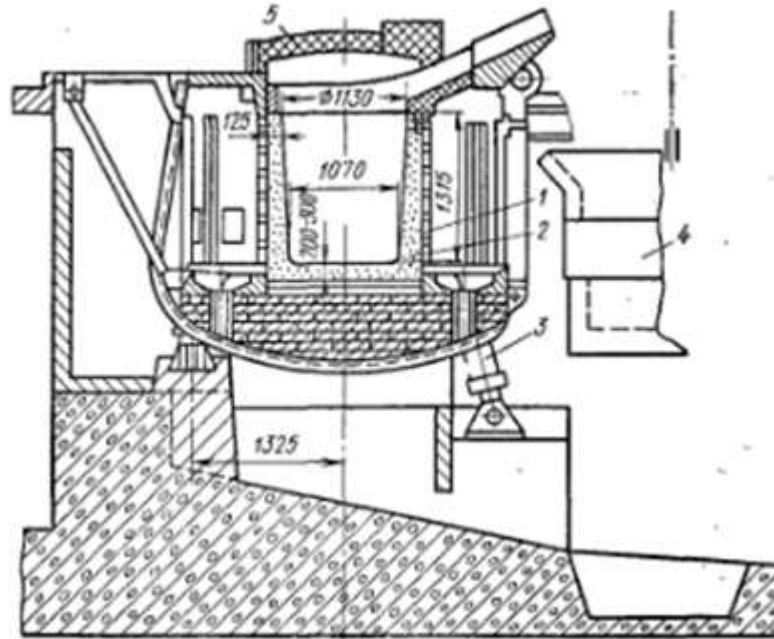


Construção do forno eléctrico do arco voltaico



1 - eléctrodo; 2 – coluna; 3 – barra; 4 – carrinho; 5 – porta-eléctrodo;
 6 – refrigerador; 7 – cabo; 8 – mecanismo de deslocamento do eléctrodo;
 9 – invólucro; 10 – forro; 11 – furo de saída; 12 – apoio; 13 – sector para
 inclinação do forno; 14 – carcaça de abóbora; 15 – área de serviço;
 16 – janela de carregamento; 17 – veio do mecanismo de inclinação do
 forno; 18 – motor eléctrico

Construção do forno eléctrica de indução



- 1 – indutor; 2 – cadinho; 3 – mecanismo de inclinação do forno;
4- caldeiro; 5 – tampa

Cálculo da carga dum forno (da lotação)

Carga está constituída de: **material base** (ferro fundido, aço, liga de Al, de Cu, Mg, plástico, vidro...), **material usado** (sucata, sistema de gito, peças defeituosas), **apara**, **elementos de liga** (ferrosilício, ferromanganes, Cr, Ni, Mo, ...), **fundente** (cal, sílica, minério, ...), **combustível** (coque, gás natural, alcatrão, ...).

Cálculo da massa do material do lote G_{ml} em kg:

$$G_{ml} = G_{pb} \cdot N_{pbl} \cdot C_{sg} \cdot C_{pd} \cdot C_{pm},$$

Onde: G_{pb} – massa dum peça bruta; N_{pbl} – número das peças brutas no lote; C_{sg} , C_{pd} , C_{pm} – coeficientes que toma em conta respectivamente a massa do sistema de gito, das peças defeituosas e da perda do material por oxidação, durante vazamento, etc.

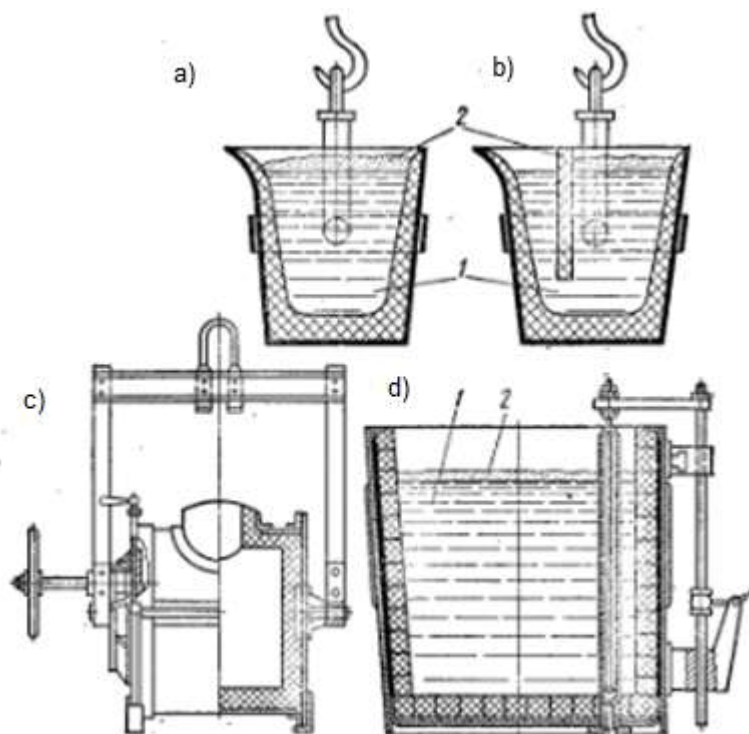
Coeficiente	Peças pequenas	Peças médias	Peças grandes
C_{sg}	1,2÷1,4	1,15÷1,25	1,05÷1,15
C_{pd} p/FFC	1,4÷1,6	1,3÷1,45	1,2÷1,35

$C_{pm} = 1,04\div 1,05$ – para fornos eléctricos; $1,06\div 1,08$ – para fornos de chama.

A massa dos componentes dum lote determina-se, tomando em conta o teor necessário do elemento químico na liga e a perda ou adição dos elementos químicos durante fusão. Para cubelote toma-se a perda do C $\rightarrow 8\div 15\%$; Si $\rightarrow 10\div 30\%$ da quantidade que foi; do Mn $\rightarrow 15\div 25\%$; do Cr $\rightarrow 16\div 20\%$; do Ni \rightarrow até 10%; do Fe $\rightarrow 5\div 10\%$, adição de 40÷50% do S do coque.

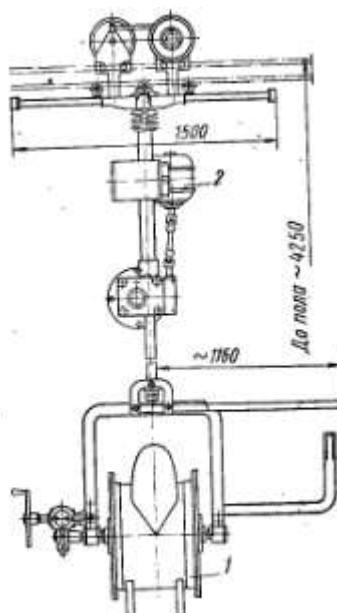
Vazamento do material

Construções dos caldeiros



1 – metal líquido; 2 - escória

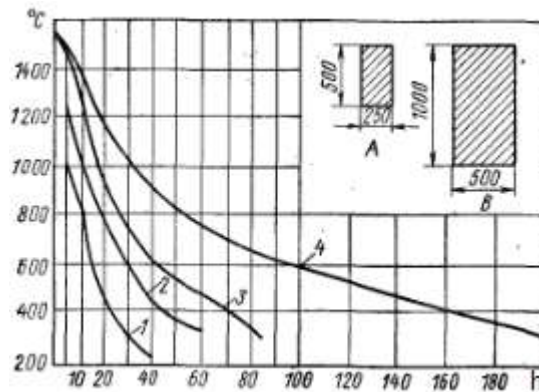
Transporte de caldeiros (talhas, guindastes)



1 – caldeiro; 2 – accionamento do mecanismo de elevação

Solidificação do material

Curvas de arrefecimento do aço



1 e 3 – curvas de arrefecimento forçado;

2 e 4 – curvas de arrefecimento natural das peças A e B

O tempo de solidificação e arrefecimento de uma peça pode-se calcular através da fórmula:

$$t_{sa} = t_1 + t_2 + t_3,$$

Onde t_1 – tempo de diminuição da temperatura da temperatura de vazamento até temperatura líquidus em s; t_2 – tempo de cristalização (de arrefecimento da temperatura líquidus até temperatura sólidus) em s; t_3 – tempo de arrefecimento da temperatura líquidus até temperatura da extracção da peça do molde em s.

$$t_1 = \frac{G_{pf} \cdot C_1 \cdot (t_{vaz}^o - t_{liq}^o)}{\beta \cdot A_{pf} \cdot (t_{vaz}^o - t_{ma}^o)}$$

Onde G_{pf} massa da peça fundida em kg; C_1 – capacidade de calor do material da peça no estado líquido em J/(kg·K); t_{vaz}^o - temperatura de vazamento do metal líquido em °C; t_{liq}^o - temperatura líquidus do material da peça em °C;

β - coeficiente de cessão do calor em W/K; A_{pf} – área da peça fundida que contacta com molde em m²; t_{ma}^o - temperatura do meio ambiente em °C.

$$\beta = \lambda/\delta,$$

Onde λ - coeficiente da condutibilidade térmica do material do molde em W/(m·K), para mistura de fundição $\lambda = 1,04$ W/(m·K); δ – espessura média das paredes da peça bruta em m.

$$t_2 = \frac{G_{pf} \cdot C_{ef} \cdot (t_{liq}^o - t_{sol}^o)}{\beta \cdot A_{pf} \cdot (t_{liq}^o - t_{ma}^o)}$$

Onde C_{ef} – calor efectivo do material da peça em J/(kg·K); t_{sol}^o - temperatura sólidus do material da peça em °C.

$$C_{ef} = C_1 + \frac{L}{t_{vaz}^o - t_{ma}^o}$$

Onde L – calor específico de cristalização (fusão) em J/kg

$$t_3 = \frac{G_{pf} \cdot C_2 \cdot (t_{sol}^o - t_{ext}^o)}{\beta \cdot A_{pf} \cdot (t_{sol}^o - t_{ma}^o)}$$

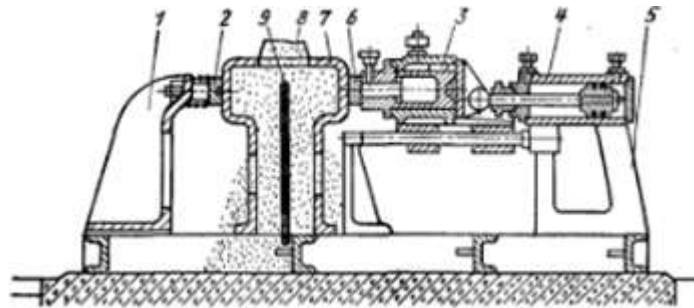
Onde C_2 - capacidade de calor do material da peça no estado sólido em J/(kg·K);

t_{ext}^o - temperatura da extracção da peça fundida do molde em °C.

Material da peça	C_1 , J/(kg·K)	C_2 , J/(kg·K)	L, J/kg	λ , W/(m·K)	t_{ext}^o
Ferros fundidos		540			400÷600
Aços	840	500	270000	0,94	600(200)÷800
Ligas de Cu		380	210000	4,2	600÷800
Ligas de Al		920	390000	2,3	200÷400
Ligas de Mg		1017		1,72	200÷400

Extracção das peças fundidas

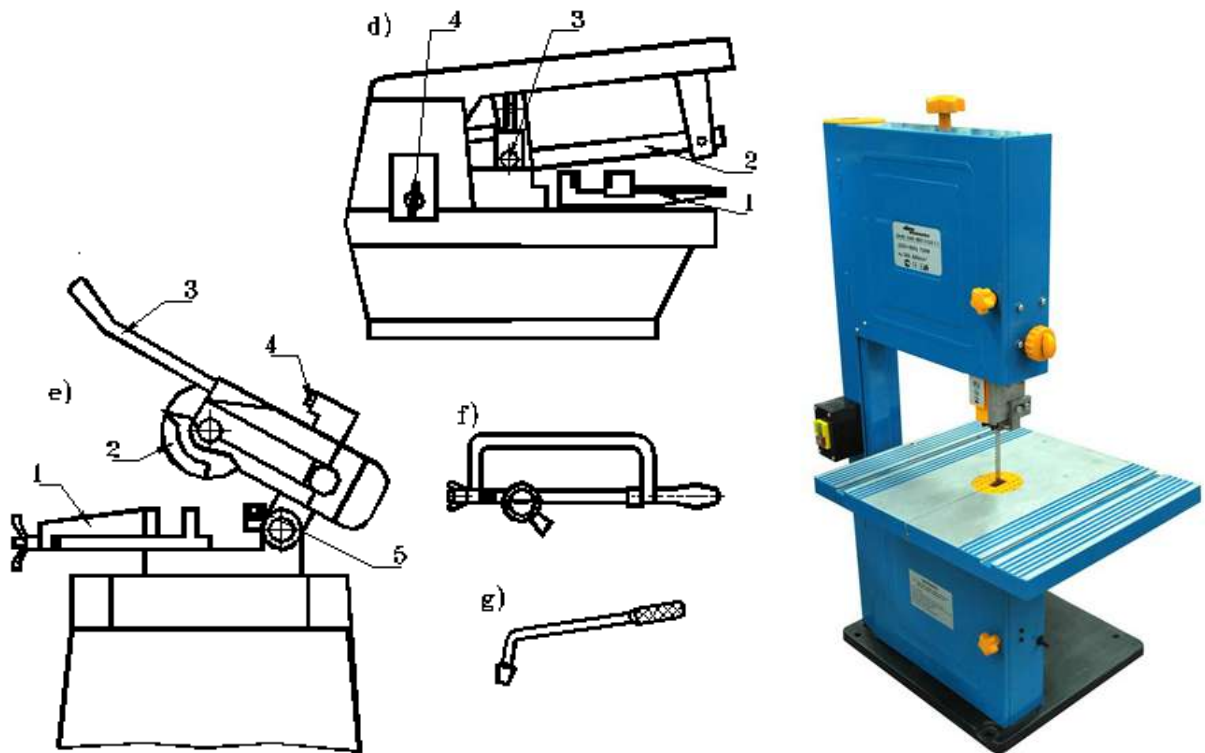
Máquina vibratória para extracção das peças fundidas



- 1 e 5 – cabeçote traseiro e dianteiro; 2 – apoio de mola; 3 – vibrador;
 4 – cilindro pneumático de aperto; 6 – martelo do vibrador; 7 – peça fundida;
 8 – macho; 9 - carcaça do macho

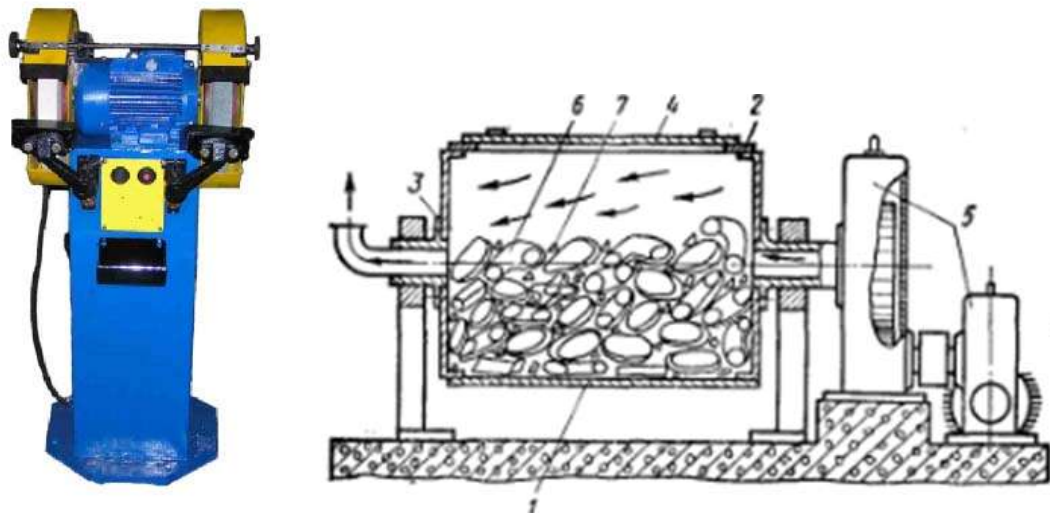
Corte do sistema de gito

Equipamento de corte do sistema de gito



Limpeza das peças brutas

Máquinas para limpeza das peças brutas



1 – invólucro; 2 – falanges; 3 – espiga; 4 – tampa; 5 – accionamento;
6 – peças fundidas; 7 – grãos abrasivos

Máquina de jateamento



Máquina de sopro



Exemplo da escolha dos materiais, do equipamento e dos regimes

A escolha do material e do equipamento fazemos para fundição em areia de 200 peças brutas de porcas apresentadas na página 21.

1. Da tabela na página 42 escolhemos a mistura de fundição de secagem rápida constituída de: areia 2K02A, de 5÷8% de argila, de 5÷5,5% de vidro líquido e de 0,5% de alcatrão.
2. Da tabela na página 43 escolhemos a mistura para machos constituída de: areia 1K02A com argila até 3%, de 2÷3% de aglutinante A-1 ou A-2 e de 2÷3% do madre de sulfato
3. Da tabela na página 46 escolhemos a tinta CT para moldes e machos constituída de: 72% de pó de quarço, 1,65% de bentonita, 1,25% de sabão nafténico, 18% de água e 7,1 % da cola de pectana.
4. Para fabricação dos moldes e machos escolhemos seguinte equipamento: placas de moldação, caixas para molde e macho, misturador da mistura; spray da tinta; jogo de colheres; ganchos; martelo de madeira; lançador de areia; prensa de compressão da mistura.
5. Da tabela na página 53 escolhemos o tempo da secagem dos moldes e machos igual a 1 h a temperatura de 160÷240 °C.
6. Do diagrama do estado Fe-Fe₃C escolhemos a temperatura de líquidos para aço 35L - 1510 °C. A temperatura de aquecimento do aço – 1610÷1710 °C.
7. Para fusão do aço escolhemos o forno eléctrico de indução de 0,5 t. O volume do forno escolhemos em função da massa do material fundido para fazer 100 peças brutas (realizamos a produção em 2-s lotes). Para tal será necessário preparar 25 moldes com 4 peças. A massa do material para fusão segundo a fórmula na página 58:

$$M_f = 6,556 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,05 = 258 \text{ kg}$$

8. Para vazamento escolhemos o caldeiro com furo no fundo

$$V_c = M_f / \gamma; \quad V_c = 258 / 7,8 = 33,1 \text{ dm}^3. \quad \text{Tomamos caldeiro de 50 l}$$

Para transportar caldeiro escolhemos a talha eléctrica de 500 kg.

9. Determinamos o tempo de solidificação e de arrefecimento segundo formulas apresentadas nas páginas 60 e 61.

$$\beta = 1,04 / 0,016 = 65 \text{ W/K}$$

$$A_{pf} = \pi \cdot 62 \cdot 70 + 2 \cdot \pi \cdot (31,5^2 - 16,4^2) = 18179 \text{ mm}^2 = 0,0182 \text{ m}^2$$

$$t_1 = \frac{6,556 \cdot 840 \cdot (1560 - 1510)}{65 \cdot 0,0182 \cdot (1560 - 25)} = 152 \text{ s}$$

$$C_{ef} = 840 + \frac{270000}{1560-25} = 1016 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$t_2 = \frac{6,556 \cdot 1016 \cdot (1510-1460)}{65 \cdot 0,0182 \cdot (1510-25)} = 190 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{6,556 \cdot 500 \cdot (1460-600)}{65 \cdot 0,0182 \cdot (1460-25)} = 1660 \text{ s}$$

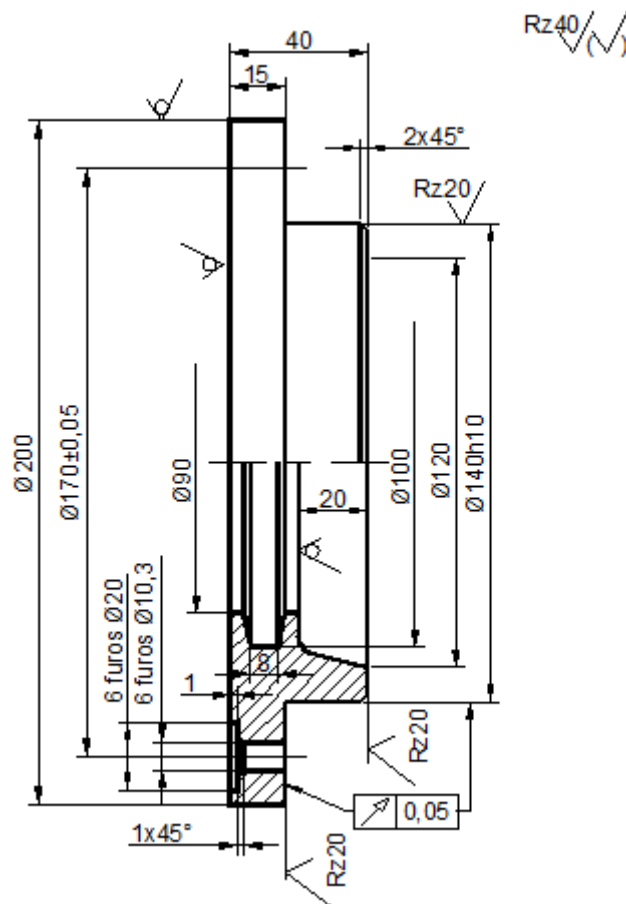
$$t_{sa} = 152 + 190 + 1660 = 2002 \text{ s}$$

10. Para extracção das peças fundidas escolhemos a máquina vibratória.
11. Para separar o sistema de gito das peças brutas escolhemos serra de disco.
12. Para limpar peças brutas escolhemos a máquina com disco abrasivo de electrocoríndum.
13. Para tirar as tensões internas realizamos o recozimento incompleto das peças brutas com aquecimento junto com forno com velocidade de 150 °/h até temperatura de 750÷770 °C, exposição ao longo de 0,5 h e arrefecimento lento junto com forno com velocidade de 100 °/h até temperatura do meio ambiente.

Exemplo 2 de projecção da peça bruta, do modelo, da caixa de molde e do sistema de gito

Para produção unitária de 10 tampas de ferro fundido GG200, apresentadas em baixo, por fundição em areia fazer o seguinte:

1. Apresentar o desenho da peça bruta.
2. Apresentar o desenho do modelo da peça bruta.
3. Apresentar o esquema de cálculo e dimensionar as caixas do molde para vazamento de uma peça bruta.
4. Dimensionar o sistema de gito. Tomar a massa do sistema de gito igual a 15% da massa da peça bruta. Não fazer recalculo.



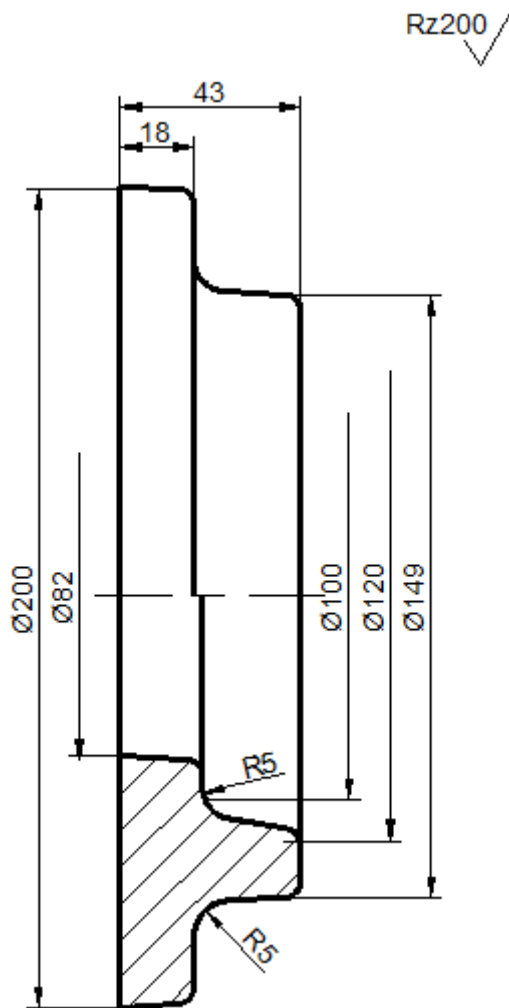
1. Desvios não indicados: Furos – H14; Veios – h14; Outros - $\pm IT14/2$
2. Raios transitórios de usinagem e de boleamento – R0,5
3. Raios de fundição – R5, ângulos de fundição – $1,5^\circ$
3. Material – Ferro fundido GG200, HB200

Professor Doutor
Assistente

Alexandre Kourbatov
Amilcar Ramo Domingos

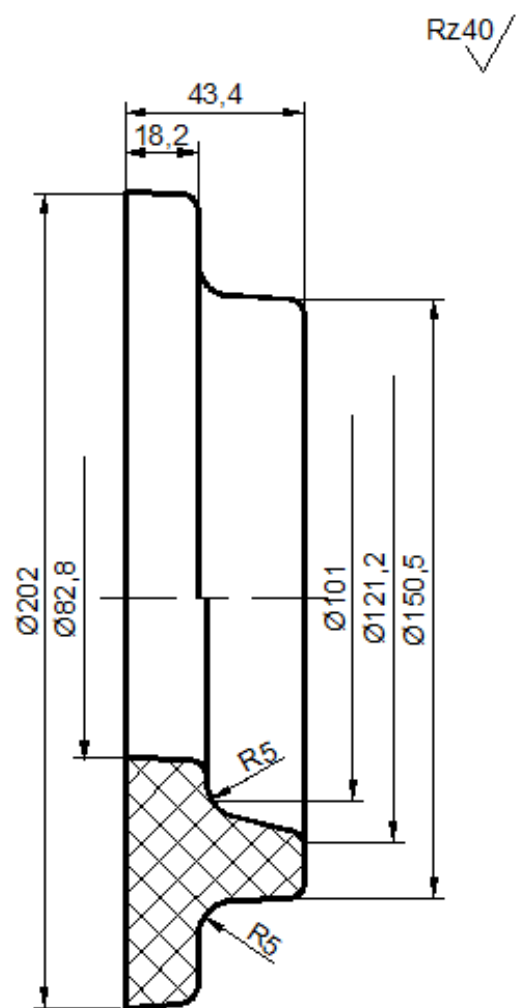
Resolução do Exemplo 2

1. Desenho da peça bruta



1. Desvios limites não indicados:
Furos – H14; Veios – h14;
Outros - $\pm IT14/2$
2. Raios não indicados – R3
3. Ângulo de fundição – $1,5^\circ$
4. Material – GG200, HB200

2. Desenho do modelo da peça bruta



1. Desvios limites não indicados:
Furos – H12; Veios – h12;
Outros - $\pm IT12/2$
2. Raios não indicados – R3
3. Ângulo não indicados – $1,5^\circ$
4. Material – Pinho

Da tabela na página 9 escolhemos as sobreespessuras para peça bruta: para o cilindro $\varnothing 140$ e furo $\varnothing 90$ de 4,5 mm e duas faces do lado direito de 3 mm. Outras superfícies da peça bruta não se tratam por usinagem e não precisam as sobreespessuras.

$$V_{pb} = \pi \cdot (200^2 \cdot 18 + 149^2 \cdot 25 - 82^2 \cdot 20 - 110^2 \cdot 23) \cdot 0,95/4 = 643345,4 \text{ mm}^3 = 643,3 \text{ cm}^3$$

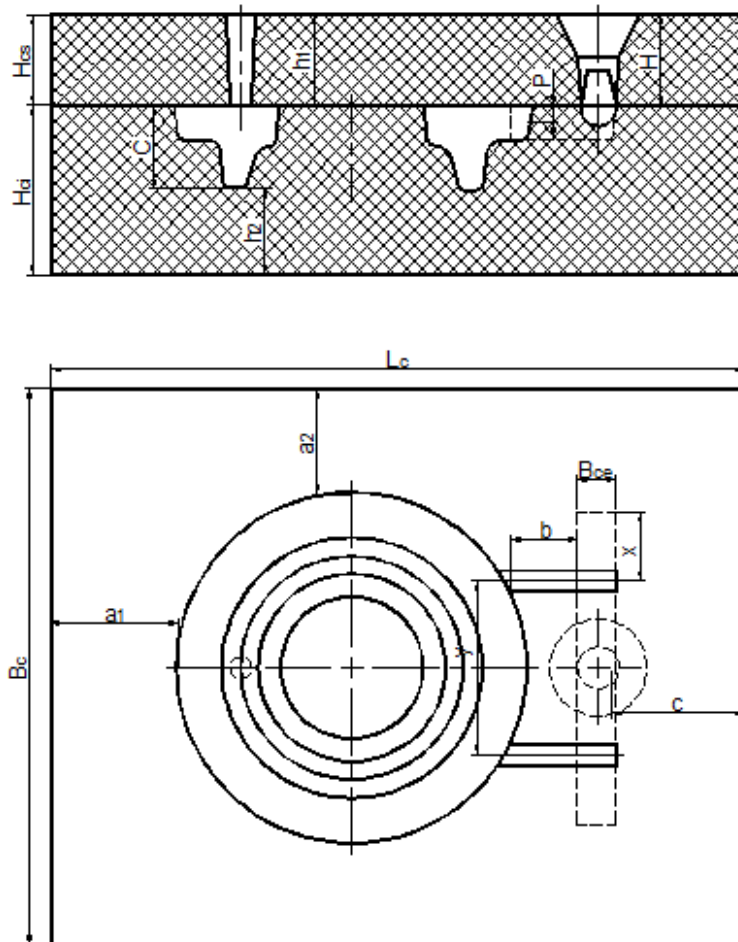
$$K_{um} = 498 / 643,3 = 0,774 > (0,4 \div 0,6) \quad \text{Peça bruta serve bem!}$$

As dimensões do modelo calculamos pela fórmula: $D_{mi} = D_{pb} \cdot C_c$

Tomamos o coeficiente de contracção do ferro fundido cinzento $C_c = 1,01$.

3. Dimensionamento da caixa do molde

O esquema de disposição da cavidade de trabalho e do sistema de gito na caixa de molde está apresentado em baixo



$$G_{pf} = V_{pb} \cdot \gamma \cdot C_{sg}; \quad G_{pf} = 643,3 \cdot 7 \cdot 1,15 = 5178,6 \text{ g}$$

Da tabela na página 25 tomamos as dimensões mínimas:
 $h = 50 \text{ mm}$; $a = 40 \text{ mm}$; $c = 40 \text{ mm}$; $d = 40 \text{ mm}$; $b = 30 \text{ mm}$

Segundo o esquema temos: $L_{c \text{ min}} = a_1 + D_{m \text{ max}} + b + D_{cv} + c$

$$\text{Daí } L_{c \text{ min}} = 40 + 202 + 30 + 20 + 40 = 332 \text{ mm}$$

$$B_{c \text{ min}} = 2 \cdot a_2 + D_{m \text{ max}}; \text{ Daí } B_{c \text{ min}} = 2 \cdot 40 + 202 = 282 \text{ mm}$$

$$H_{c \text{ sup}} = h = 50 \text{ mm} \quad H_{c \text{ inf}} = h + H_m; \quad \text{Então } H_{c \text{ inf}} = 50 + 43,4 = 93,4 \text{ mm}$$

Da tabela na página 26 escolhemos as dimensões da caixa superior $L_c \times B_c \times H_{c \text{ sup}} = 400 \times 315 \times 50$ e da caixa inferior $L_c \times B_c \times H_{c \text{ inf}} = 400 \times 315 \times 100$

Recalculamos $a_1 + c = L_c - D_{m \text{ max}} - b - D_{cv}$ Tomamos $a_1 = c$

$$\text{Daí } a_1 = (400 - 202 - 30 - 20)/2 = 74 \text{ mm}$$

$$a_2 = (B_c - D_{m \text{ max}})/2; \quad \text{Daí } a_2 = (315 - 202)/2 = 56,5 \text{ mm}$$

$$h_1 = H_{c \text{ sup}} = 50 \text{ mm}; \quad h_2 = H_{c \text{ inf}} - H_m; \quad \text{Daí } h_2 = 100 - 43,4 = 56,6 \text{ mm}$$

4. Dimensionamento do sistema de gito (20 p.)

O dimensionamento começamos do cálculo da área da secção transversal dos canais de ataque pela fórmula:

$$F_{ca} = \frac{G_{pf}}{\gamma \cdot t \cdot \mu \sqrt{2g \cdot H_c}}$$

$$t = s \sqrt[3]{G_{pf} \cdot \delta} \quad t = 1,28 \cdot \sqrt[3]{5,18 \cdot 18} = 5,8 \text{ s}$$

$$H_c = H - \frac{P^2}{2C} \quad H_c = 50 - 10^2 / (2 \cdot 43,4) = 48,8 \text{ mm}$$

$$F_{ca} = \frac{5178,6}{7 \cdot 5,8 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 4,88}} = 1,86 \text{ cm}^2$$

Temos dois canais de ataque, por isso a área de um canal $F_{a1} = 1,86/2 = 0,93 \text{ cm}^2$

$$B_{ca} = H_{ca} = \sqrt{\frac{0,93}{0,875}} = 1,03 \text{ cm} = 10,3 \text{ mm} \quad A_{ca} = 0,75 \cdot 10,3 = 7,7 \text{ mm}$$

As dimensões dos canal de escoria e da coluna de vazamento

determinamos da relação $F_{ca} : F_{ce} : F_{cv} = 1 : 1,1 : 1,15$

Daqui $F_{ce} = 1,1 \cdot 1,86 = 2,046 \text{ cm}^2$

$$B_{ce} = H_{ce} = \sqrt{\frac{2,046}{0,875}} = 1,53 \text{ cm} = 15,3 \text{ mm} \quad A_{ce} = 0,75 \cdot 15,3 = 11,5 \text{ mm}$$

$$F_{cv} = 1,15 \cdot 1,86 = 2,14 \text{ cm}^2; \quad D_{cv \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cv}}{\pi}}; \quad D_{cv \text{ min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,14}{\pi}} = 1,65 \text{ cm} = 16,5 \text{ mm}$$

$$L_{ca} = b + B_{ce}; \quad L_{ca} = 30 + 15,3 = 45,3 \text{ mm}$$

$$L_{ce} = y + 2 \cdot (2 \div 3) B_{ce}; \quad L_{ce} = 100 + 2 \cdot (2 \div 3) \cdot 15,3 = 180 \text{ mm}$$

Pois a massa da peça fundida é menor de 15 kg vamos utilizar o funil simples.

$$D_f = (2 \div 3) \cdot D_{cv}; \quad D_f = (2 \div 3) \cdot 16,5 = 11 \text{ mm} *$$

$$L_f = (45 - 11) / (2 \cdot \text{tg}30^\circ) = 12 \text{ mm} \quad L_{cv} = 50 - 12 - 15,3 = 22,7 \text{ mm}$$

Pois a peça bruta não tem as secções maciças não vamos utilizar o alimentador, vamos utilizar o respirador. Tomamos o diâmetro do respirador de 10 mm e colocamos sobre o sítio mais grosso. O comprimento do respirador fica de 50 mm. Tomamos a conicidade do respirador e da coluna de vazamento de 2°.

Soldadura

Literatura recomendada:

V.G. Gevorkian. Bases de soldadura. Moscovo, 1985. – 168 p.

Clipes de diferentes métodos de soldadura:

Jogo de clipes de soldaduras diferentes

<http://www.youtube.com/watch?v=x-wUosU-mDs&playnext=1&list=PLF43A139A916596A3>

Soldadura de arco

<http://www.youtube.com/watch?v=XXZJCHqgaTU>

Soldadura em atmosfera protectora de gás MIG-MAG

http://www.youtube.com/watch?v=z_6w5FmEMYg&feature=related

<http://www.youtube.com/watch?v=tmIXuDgNLlg>

Soldadura por pontos

<http://www.youtube.com/watch?v=CGzck0JiV3c>

Soldadura eléctrica e oxiacetilénica

<http://www.youtube.com/watch?v=FNH8wppYank>

<http://www.youtube.com/watch?v=MrwWknA0tDY>

Soldadura Oxiacetilénica

<http://www.youtube.com/watch?v=EfGhi27euoA>

Soldadura com plasma

<http://www.youtube.com/watch?v=R--GKfeWdq8>

Corte com plasma

<http://www.youtube.com/watch?v=nL2i2UbNn5E>

Soldadura com laser

<http://www.youtube.com/watch?v=-qU6IJ1tCQw>

Minha proposta de Negócio na Internet!

Eu procuro os parceiros com quem vamos fazer o Negócio na Internet. Precisa o acesso a internet, 3-4 h/dia e um investimento financeiro.

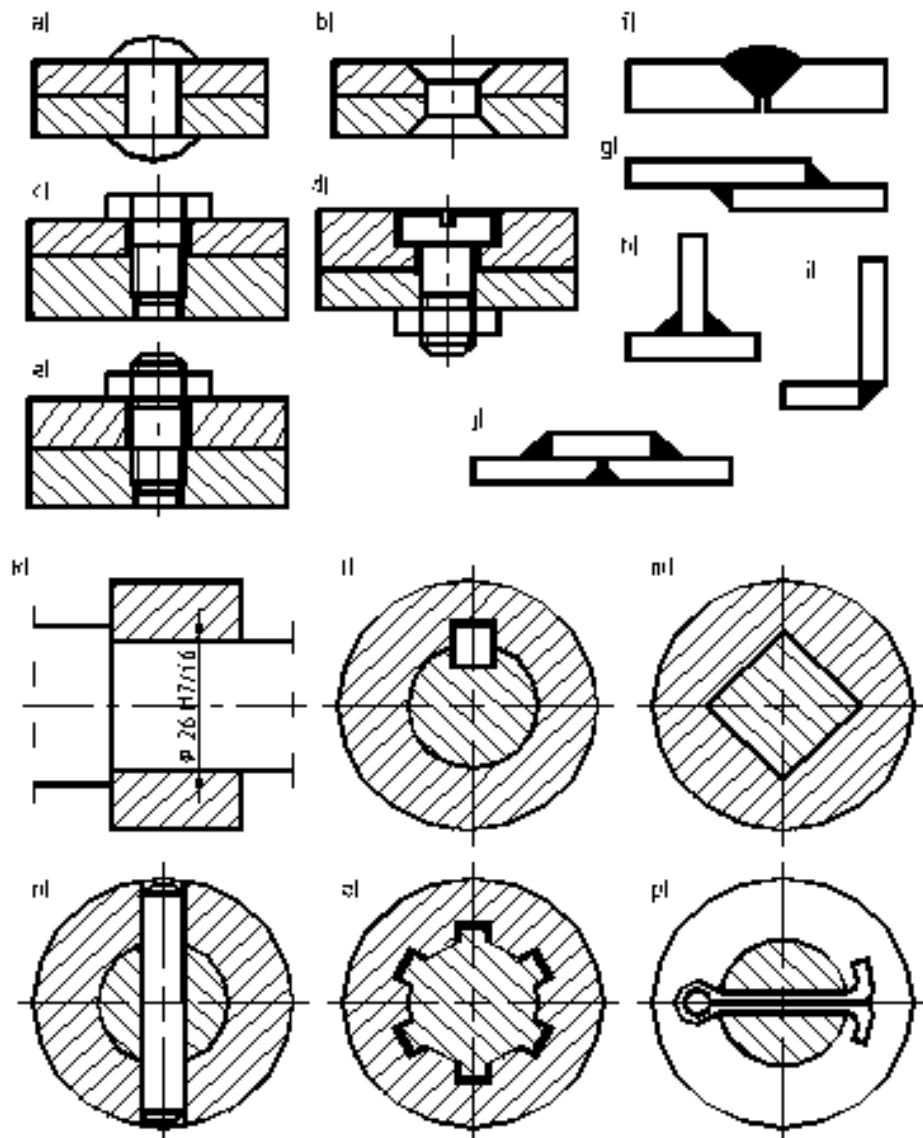
Vou ensinar tudo o que seja necessário. O negócio na Internet tem grande perspectiva, permite ficar financeiramente independente dentro dum tempo.

Vejam o clipe <http://b21v.ru/pt/?p=39> e contactam comigo pelo Skype alexandre.kourbatov

Noções gerais de soldadura e união das peças e suas partes

Durante a fabricação das peças e suas partes e montagem de mecanismos e máquinas frequentemente realiza-se a união, junção das peças e suas partes. A soldadura é o métodos de junção não desmontável das peças entre si por meio da formação das ligações entre os átomos das peças a unir. Para que os átomos das peças a unir entrem nas ligações interatômicas há de aproximar peças na distância igual a 30-50 nm entre os átomos. Isso pode ser feito no resultado da fusão duma parte do material das peças a unir ou do material adicional na zona de união ou no resultado do aquecimento e da deformação plástica da zona de união das peças.

Existem diferentes métodos de união das peças e suas partes e há de saber escolher o método melhor para caso dado. Todas as uniões pode-se dividir nas uniões móveis e imóveis, desmontáveis e não desmontáveis. As união imóveis podem ser:



1. De rebites (figura a, b);
2. De parafusos e porcas (figura c, d, e);

3. De soldadura (figura f - i);
4. De cola (figura j);
5. De aperto ou ajustamento incerto (figura k);
6. De chaveta (figura l);
7. De veio quadrado (figura m);
8. De pino (figura n);
9. De estrias (figura o);
10. De troços (figura p), etc.

As uniões móveis são com folga e sua montagem faz-se através de colocação simples numa peça em cima de outra. Neste caso a ligação faz-se geralmente pela superfície cilíndrica como na figura k. As uniões de rebites, soldadura e de cola é impossível desmontar sem destruição de alguns elementos por isso eles chamam-se não desmontáveis. As uniões com aperto, parafusos e porcas, pernas, pinos, troços são desmontáveis (pode-se desmontar sem destruição de qualquer peça).

As uniões com aperto podem ser realizadas: 1) com pressão nas prensas; 2) através de aquecimento da peça externa nos fornos ou 3) com congelamento da peça interna em nitrogénio líquido. Para montagem das uniões com parafusos e porcas utilizam-se diferentes chaves ou dispositivos de parafusamento mecanizados (eléctricos, pneumáticos, etc.). Os parafusos instalam-se nos furos com folga e depois se parafusa a porca. Pode ser que uma das peças tem rosca e o parafuso passa através do furo liso e parafusa-se noutra peça com furo roscado. Em vez de parafusos podem ser utilizados os pernos (Figura 40 e). Pernos, parafusos e porcas fabricam-se geralmente com 12º grau de tolerância. Este tipo de junção é mais utilizado na prática.

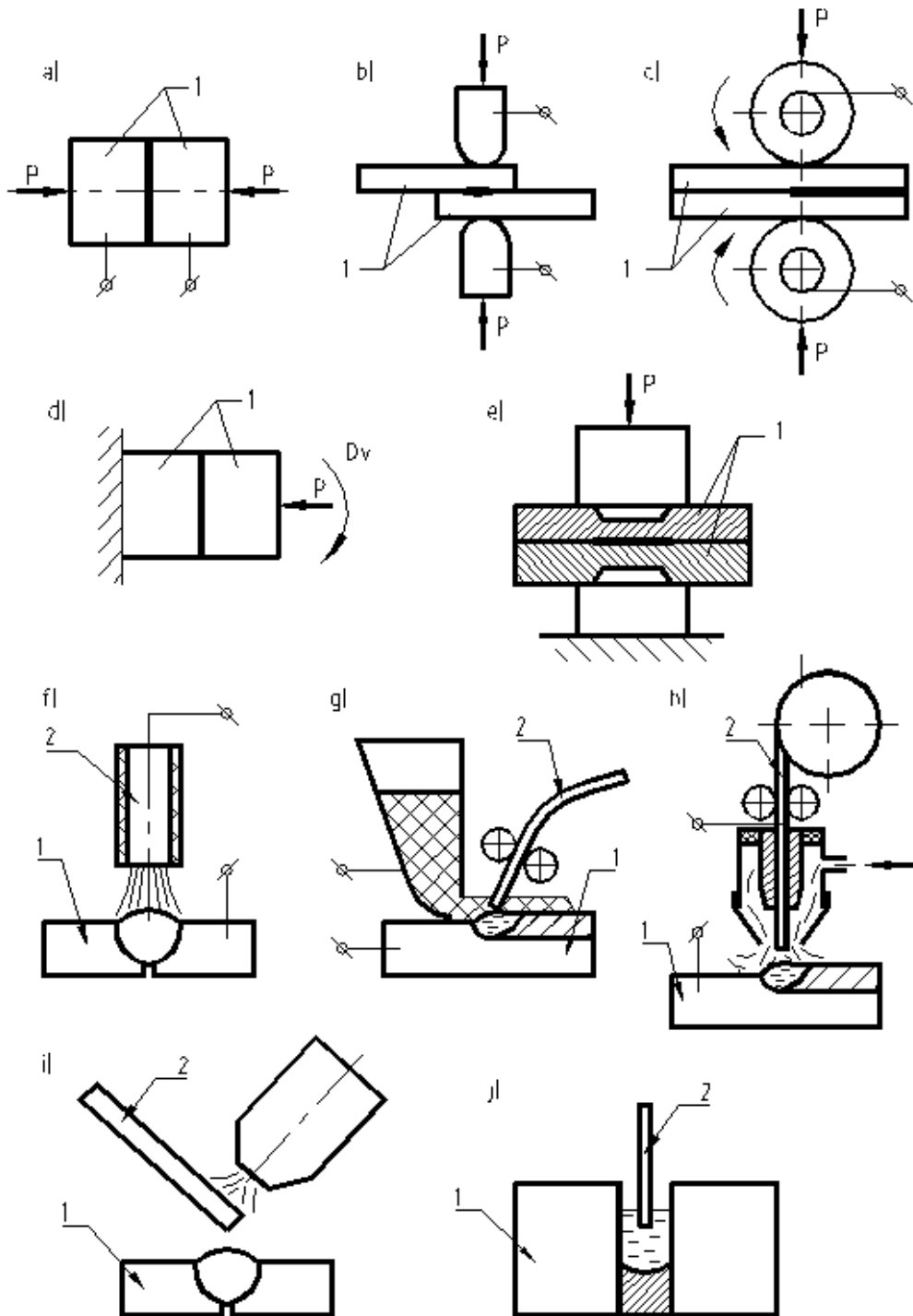
As peças podem ser ligadas com diferentes tipos de rebites (com cabeças semiredondas, cabeças embutidas, rebites inteiros e ocos). Os rebites instalam-se nos furos das peças com folga e depois se forma cabeça de outro lado (este processo chama-se rebitagem). A rebitagem realiza-se com punção e martelo ou com dispositivo mecânico, hidráulico, etc. Os rebites fabricam-se geralmente com 12º grau de tolerância.

Às vezes os furos para parafusos e rebites executam-se no processo de montagem. Quer dizer que as peças no início fabricam-se sem furos. Depois disso uma peça instala-se em cima de outra, fixam-se por meio de qualquer dispositivo e abrem-se os furos em ambas as peças simultaneamente. Isso dá possibilidade de garantir coincidência dos eixos dos furos.

A união das peças por soldadura é muito usado pois muitas das vezes facilita o processo de fabricação dos produtos, diminui o peso dos produtos e o tempo da sua fabricação.

Métodos de soldadura, sua essência e seu campo de uso

Existem diferentes métodos de soldadura. Todos os métodos pode-se dividir em soldadura por pressão (figuras a – e em baixo) e soldadura por fusão (figuras f – j).



a) Soldadura a topo por resistência; b) Soldadura por pontos; c) Soldadura contínua; d) Soldadura por atrito; e) Soldadura por impressão; f) Soldadura pelo arco voltaico; g) Soldadura sob camada de fundente; h) Soldadura em atmosfera protectora de gás (MIG, MAG, TIG, etc); i) Soldadura a gás oxi-aceteleno, com raios dos electrões, do laser, com plasma; j) Soldadura eléctrica sob uma camada de escória, etc.

Pelo grau de automação todos os métodos de soldadura pode-se dividir nos métodos manuais, semiautomáticos e automáticos.

Os métodos mais usados de soldadura são os métodos de soldadura pelo arco voltaico. O arco voltaico representa a descarga potente da electricidade na atmosfera ionizada dos gases e dos vapores do metal entre o eléctrodo e as peças a soldar.

Destacam diferentes métodos de soldadura pelo arco voltaico: com fusão do eléctrodo e sem fusão. Os eléctrodos com fusão tem a composição parecida à dos materiais a soldas e podem ser com ou sem revestimento e em forma de tubo com fundente por dentro. Mais usada é a soldadura com eléctrodo metálico revestido. Utilizam-se diferentes materiais para revestimento dos eléctrodos. O revestimento pode ser fino e grosso (que melhor mas mais caro) e serve para garantir a combustão estável do arco, para defender o metal fundido da acção do ar e para obter as propriedades necessárias do cordão (químicas, físicas, mecânicas).

Os eléctrodos de tubo garantem melhores propriedades mecânicas do cordão, melhor aparência, menor quantidade de salpicos, menores deformações

No caso de uso dos eléctrodos sem revestimento para a protecção do cordão da influência dos gases da atmosfera (pois oxigénio, hidrogénio, nitrogénio pioram as propriedades do material) podem ser utilizados os gases inertes (árgon, néon), gases activos (óxido e bióxido de carbono), os fundentes diversos.

Os eléctrodos que não se fundem durante soldadura fabricam-se dos materiais de alta temperatura de fusão: carbono, carvão, tungsténio, etc. Neste caso realiza-se a fusão dum parte do material das peças a soldar perto da zona de união e do material de adição .

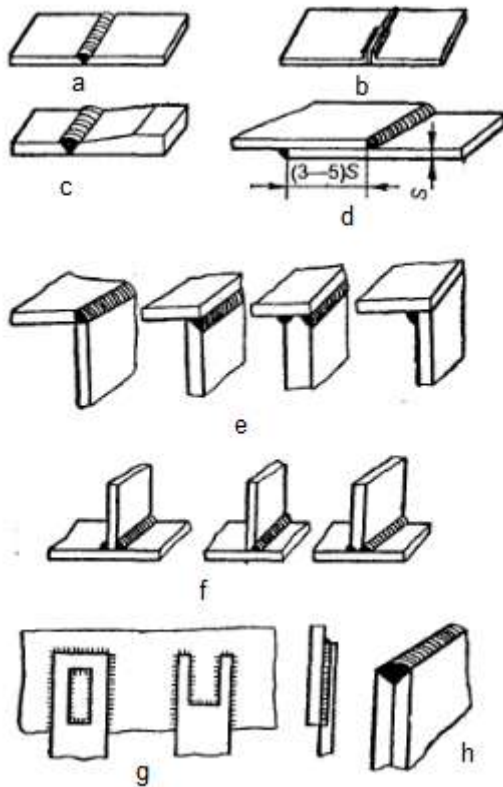
Pelo tipo do arco voltaico destacam a soldadura com arco directo (entre o eléctrodo e as peças a soldar), indirecto (entre dois eléctrodos), trifásico (entre dois eléctrodos e as peças a soldar), com arco livre, com arco comprimido.

Pelo tipo da corrente eléctrica destacam a soldadura com corrente constante e alternada. No caso de uso da corrente constante garante-se melhor estabilidade do arco. A ligação do eléctrodo e das peças a soldar à corrente pode ser directa (o eléctrodo é cátodo, as peças são ânodos) e inversa (o eléctrodo é ânodo e as peças são cátodos). No caso de uso da corrente alternada a soldadura pode ser de uma fase e três fases (é a 2-3 vezes mais rápido e em 25% mais económico).

Pelo número dos eléctrodos a usar simultaneamente destacam a soldadura com 1, 2 e mais eléctrodos. Com o uso de maior número dos eléctrodos simultaneamente garante-se a maior velocidade de soldadura, maior produtividade.

A escolha do método de soldadura e do equipamento necessário realiza-se em função do material, da construção das peças a soldar e do cordão, das suas dimensões e do tipo de produção.

Tipos de união das peças por soldadura



Destacam diferentes tipos de união das peças por soldadura (tipos de junta):

- União a topo com diferentes formas de costura (figuras a, b, c);
- União sobreposta (figura d);
- União angular com diferentes formas de costura (figuras e);
- União em T com diferentes formas de costura (figuras f);
- União sobreposta com cordão complexo (figura g);
- União de face (figura h);
- União com cobertura da costura (com chapa adicional).

Descrição do processo de soldadura

O processo de soldadura fica constituído de três etapas. Antes de soldar peças faz-se a preparação das zonas de união delas. Podem ser realizados seguintes tratamentos: fresagem, limpeza, desengordamento das uniões, montagem das peças a soldar, sua fixação por meio dos dispositivos de soldadura, etc.

Durante do processo de soldadura no banho do cordão e nas zonas próximas a cordão realizam-se diferentes processos: solidificação, cristalização, difusão dos átomos, reacções de fases (eutética, peritética, eitectóide, peritectóide), transformações alotrópicos (processos de recristalização), diversas reacções químicas (oxidação, desoxidação, decarbonação, etc.), criam-se as tensões internas térmicas e estruturais, etc. Todos os estes processos foram descritos na disciplina "Materiais 1 e 2".

Depois de soldar realiza-se a retirada da escória, limpeza do cordão (da junta), pode ser feito o endireitamento das peças, recozimento para tirar as tensões internas.

Escolha do método de soldadura

O método de soldadura escolhe-se em função do destino, da forma das peças (chapas, tubos, perfis, etc.), suas dimensões, material das peças a soldar, da forma e disposição do cordão e do tipo de produção. O equipamento para soldadura a gás, por raios laser e plasma além de união das peças aplicam-se também para corte das peças com espessura até poucas dezenas mm com laser e plasma e até centenas mm a gás.

Para produção unitária e em série pequena utiliza-se a soldadura manual geralmente com eléctrodos revestidos ou de tubo com pó por dentro. Na produção em série pequena e média já há de utilizar a soldadura semiautomática. Neste caso geralmente o deslocamento ao longo do eixo do eléctrodo realiza-se automaticamente e o deslocamento do eléctrodo ao longo do cordão – manualmente, métodos MIG, MAG, TIG, etc. Os gases inertes (Ar, He, Ne) utilizam-se para soldar metais não ferrosos e gases activos (CO₂, N₂, H₂) para metais ferrosos.

Na produção em série grande e em massa há de utilizar os métodos de soldadura mais rápidos (de contacto, resistência eléctrica, fricção, sobre fundente, laser, plasma, etc.), automáticos, por meio dos robôs, máquinas de soldar automáticas, linhas automáticas. Neste caso todos os movimentos do eléctrodo realizam-se automaticamente.

Para aumentar a produtividade da soldadura com eléctrodos revestidos na produção em série pode ser usada:

- Soldadura com penetração profunda (quando o eléctrodo apoia-se no revestimento) sem deslocamentos transversais do eléctrodo;
- Soldadura com jogo de alguns eléctrodos sem deslocamentos transversais dos eléctrodos;
- Soldadura com um ou alguns eléctrodos deitados na ranhura entre chanfros e mais um que cria o arco voltaico;
- Soldadura trifásica (duas fases a dois eléctrodos e terceira fase a peça).

Os métodos de soldadura por arco voltaico com eléctrodo revestido, de tubo e com gases de protecção (MIG, MAG, TIG) servem para soldar cordões em qualquer disposição: horizontal, vertical, inclinado ou de teto. A soldadura sobre fundente serve só para cordões horizontais. A soldadura sobre escória utiliza-se só para soldar peças grossas, de dezenas e centenas mm de espessura.

Para soldar chapas finas utiliza-se mais a soldadura a gás, MIG/MAG/TIG, de contacto. Utiliza-se também soldadura com eléctrodos revestidos, raios laser, com plasma.

A soldadura submarina pode ser realizada na profundidade até 50 m com eléctrodos revestidos, eléctrodos de tubo com pó por dentro ou com protecção com gases inertes.

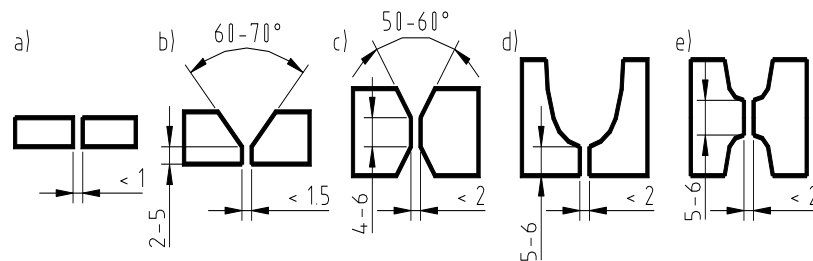
A soldadura sobre escória utiliza-se para unir peças com espessura maior de 20 mm, sem fazer chanfros. Neste caso a folga entre peças fica maior do diâmetro do eléctrodo em 1÷1,5 mm.

A soldadura de contacto eléctrico permite unir as peças de diferentes metais (aços com liga de cobre, etc.). A soldadura de contacto utiliza-se para soldar chapas com espessura até alguns mm.

Escolha dos métodos, materiais e do equipamento para preparação das peças a soldar

Antes de soldadura geralmente faz-se a limpeza das superfícies das peças a soldar e para peças grossas ainda tratam-se chanfros. A limpeza pode ser feita com escovas metálicas, limas, discos abrasivos, etc. Para desengordamento utilizam-se diferentes dissolventes, por exemplo, white spirit, acetona, querosene, terebintina, etc.

No caso da junção das peças a topo com a espessura S até 6 - 8 (12) mm a soldagem realiza-se ao longo da folga entre as peças < 1 mm sem talhar os bordos (figura a). As chapas com espessura até 4 mm soldam-se de um lado e com maior espessura de dois lados. Quando a espessura das peças a soldar é maior de 6 – 8 mm faz-se o talho dos bordos sob o ângulo unilateral (para $S =$ de 6 a 12 mm) ou bilateral (para $S =$ de 12 a 60 mm) (figuras b, c). Para as peças com espessura maior de 15÷20 mm faz-se o talho perfilado (figuras d, e).



Tipos de preparação das uniões das peças para soldar.

Os chanfros podem ser feitos com cinzel pneumático, por fresagem, com discos abrasivos e por corte a oxigénio. Na produção unitária e série pequena a fresagem pode ser feita com berbequins e fresas ou discos abrasivos. Na produção em série pequena e média os chanfros geralmente fabricam-se nas fresadoras ou nas limadoras, acepiladoras. Na produção em série grande e em massa os chanfros fabricam-se geralmente nas fresadoras automáticas e máquinas automáticas de corte a oxigénio.

Para garantir a disposição certa das peças, para diminuir as tensões internas e deformações das peças a soldar responsáveis utilizam-se os dispositivos de aperto (morsas, prendedores, etc.), dispositivos de soldadura especiais (na produção em série grande e em massa). As peças a soldar se fixam nestes dispositivos antes de soldadura e desapertam-se só depois de arrefecimento do cordão. Na produção unitária e da série pequena a orientação das peças mantém-se com alguns pingos.

As peças responsáveis, peças de aço com médio e alto teor de carbono, de ferro fundido antes de soldadura podem ser pré-aquecidas até temperatura de centenas graus nos fornos eléctricos ou com maçarico. Os aços com 0,4% de C há de pré-aquecer até 100÷120 °C, os aços com 0,5% de C até 250÷350 °C. As temperaturas maiores tomam-se para peças mais grossas. Os aços termoresistentes de Mo, Cr e Mo, e Cr, Mo e V há de pré-aquecer até 200÷300 °C, os aços inoxidáveis ferríticos (com Cr) até 300÷400 °C.

Escolha dos eléctrodos para soldadura por arco voltaico

A composição química do arame dos eléctrodos geralmente é parecida a do material das peças a soldar mas não é igual. O eléctrodo tem que ter ligeiramente maior quantidade dos elementos de liga que se queimam durante soldadura com excepção do C. Além disso para as peças de elevada e alta responsabilidade há de usar os eléctrodos que melhoram as propriedades do cordão. Para isso o material do eléctrodo tem que ter $C_e \leq 0,48\%$ e a relação $Cr_e/Ni_e > 1$.

$$C_e = C + P/2 + Mo/4 + Cr/5 + Mn/6 + Cu/13 + V/14 + Si/24 + Ni/40$$

$$Cr_e = Cr + 2 (Al + Ti) + 1,5 \cdot Si + Mo + V + W + Nb + Ta$$

$$Ni_e = Ni + 12 \cdot B + Co + 0,5 \cdot Mn + 30 \cdot N + 0,3 \cdot Cu$$

Os diâmetros do arame são normalizados: 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12. Para soldadura MIG, MAG utiliza-se arame com diâmetro de 0,3 a 2 mm (veja recomendações na página 85).

O diâmetro dos eléctrodos de tungsténio (TIG) toma-se de 1,5÷6 mm.

O arame com diâmetro de 1,6 a 12 mm utiliza-se para fazer eléctrodos revestidos. O arame com diâmetro de 2 a 6 mm utiliza-se para soldadura sobre fundente. Os eléctrodos de tubo com pó fabricam-se com diâmetro de 2,5 a 5 mm.

Material do arame	Composição química em %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	Outros el.	S	P
Arame de baixo teor de carbono										
Cb-08	≤ 0,10	0,35...0,60	≤ 0,03	≤ 0,15	≤ 0,30	—	—	—	0,040	0,040
Cb-08A	≤ 0,10	0,35...0,60	≤ 0,03	≤ 0,12	≤ 0,25	—	—	—	0,030	0,030
Cb-08AA	≤ 0,10	0,35...0,60	≤ 0,03	≤ 0,10	≤ 0,25	—	—	—	0,020	0,020
Cb-08FA	≤ 0,10	0,80...1,10	≤ 0,03	≤ 0,10	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Cb-10FA	≤ 0,12	1,10...1,40	≤ 0,03	≤ 0,20	≤ 0,30	—	—	—	0,025	0,030
Cb-10F2	≤ 0,12	1,50...1,90	≤ 0,03	≤ 0,20	≤ 0,30	—	—	—	0,030	0,030
Arame de liga pobre										
Cb-08FC	≤ 0,10	1,40...1,70	0,60...0,85	≤ 0,20	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Cb-12FC	≤ 0,14	0,80...1,10	0,60...0,90	≤ 0,20	≤ 0,30	—	—	—	0,025	0,030
Cb-08F2C	0,05...0,11	1,80...2,10	0,70...0,95	≤ 0,20	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Cb-15FCTЮЛЦА	0,12...0,18	0,60...1,00	0,45...0,85	≤ 0,30	≤ 0,40	—	0,05...0,20	Al0,20...0,50 Zr0,05...0,15 Ce ≤ 0,40	0,025	0,025
Cb-20FCTЮА	0,17...0,23	0,90...1,20	0,60...0,90	≤ 0,30	≤ 0,40	—	0,10...0,20	Al0,20...0,50 Ce0,30...0,45	0,025	0,025
Cb-08XM	0,06...0,10	0,35...0,60	0,12...0,30	0,90...1,20	≤ 0,30	0,50...0,70	—	—	0,025	0,025
Cb-08XF2C	0,05...0,11	1,70...2,10	0,70...0,95	0,70...1,00	≤ 0,25	—	—	—	0,025	0,030
Cb-10XF2CMA	0,07...0,12	1,70...2,10	0,60...0,90	0,80...1,10	≤ 0,30	0,40...0,60	—	—	0,025	0,025
Cb-10X5M	≤ 0,12	0,40...0,70	0,12...0,35	4,00...5,50	≤ 0,30	0,40...0,60	—	—	0,025	0,030
Arame de liga rica										
Cb-12X13	0,09...0,14	0,30...0,70	0,30...0,70	12,0...14,0	≤ 0,60	—	—	—	0,025	0,030
Cb-01X19H9	≤ 0,08	1,00...2,00	0,50...1,00	18,00...20,00	8,00...10,00	—	—	—	0,015	0,025
Cb-06X19H9T	≤ 0,08	1,00...2,00	0,40...1,00	18,00...20,00	8,00...10,00	—	0,50...1,00	—	0,015	0,030
Cb-04X19H9C2	≤ 0,06	1,00...2,00	2,00...2,75	18,00...20,00	8,00...10,00	—	—	—	0,018	0,025
Cb-10X20H15	≤ 0,12	1,00...2,00	≤ 0,80	19,00...22,00	14,00...16,00	—	—	—	0,018	0,025

O diâmetro dos eléctrodos D_e é normalizado.

Para uniões a topo o diâmetro do eléctrodo revestido escolhe-se em função da espessura E das peças a soldar segundo à tabela:

E em mm	0,5	1	1,5	2	3-5	6-8	9-12	13-15	16-20	> 20
D_e em mm	1	1,6-2	2	2,5	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-12

Para uniões angulares e em T o diâmetro do eléctrodo escolhe-se em função do valor do cateto do cordão. Para catetos de 2÷5 mm utilizam-se eléctrodos com diâmetro de 3÷4 mm, para catetos de 6÷8 mm – eléctrodos de 4÷5 mm do diâmetro.

O diâmetro do arame de adição para soldadura a gás, laser, plasma para espessura da peça $E \leq 15$ mm pode-se determinar pela fórmula: $D_a = E/2 + 1$.

Dimensões normalizados dos eléctrodos revestidos

Diâmetro em mm	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Comprimento em mm para eléctrodos sem liga e com liga pobre	200, 250	250	250, 300	300, 350	350, 450	450				
Comprimento em mm dos eléctrodos com liga rica	150, 200	200, 250	250	300, 350	350	350, 450				

O tipo do eléctrodo escolhe-se em função da resistência necessária do cordão:

- Para soldar aços sem liga e de liga pobre utilizam-se os eléctrodos do tipo: E38; E42; E42A; E46; E46A; E50; E50A; E55; E60.
- Para soldar aços de liga de elevada e alta resistência utilizam-se os eléctrodos do tipo: E70; E85; E100; E125; E150.
- Para soldar aços de liga rica utilizam-se os eléctrodos do tipo: E-09M; E-09MX

O número depois da letra E corresponde ao limite de ruptura que se garante com eléctrodo. A letra A significa que este eléctrodo é de alta qualidade, garante maior plasticidade do cordão e utiliza-se para peças mais responsáveis.

Os eléctrodos podem ter o revestimento fino (com espessura de 0,1 a 0,25 mm) ou grosso (com espessura de 0,7 a 2,5 mm). **O revestimento fino serve** para facilitar a ionização do ar, facilitar ignição e estabilizar a combustão do arco. Neste caso o revestimento contem K, Na, Ca, Ba, Li, etc. geralmente em forma dos sais: giz (CaCO_3); potassa (K_2CO_3); BaCO_3 . Como aglutinante utiliza-se o vidro líquido ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$). Os eléctrodos com revestimento fino com sais acima ditos não protegem o cordão da influência do ar e utilizam-se para peças de responsabilidade baixa.

Para peças de responsabilidade média e elevada utilizam-se os revestimentos finos que contem concentrados de Ti, minério de Mn e vidro líquido:

O revestimento K-3 contem 57,8% do concentrado do Ti, 42,2% do minério de Mn e vidro líquido de 25 a 35% da massa do concentrado e do minério.

O revestimento A-1 contem 86,6% do concentrado do Ti, 10,2% do minério de Mn, 3,2% do nitrato de potássio e vidro líquido de 30 a 35% da massa do concentrado e do minério.

Para peça de paredes finas recomenda-se utilizar **o revestimento MT** de 62%do concentrado do Ti, 31% do feldspato ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) e vidro líquido em 30% da massa do concentrado e do feldspato.

Para as peça de responsabilidade elevada e alta há de utilizar os eléctrodos com revestimento grosso. Estes revestimentos além de fácil ignição e estabilidade do arco protegem o cordão da acção do ar, realizam a desoxidação do metal do cordão, adicionam os elementos de liga no cordão, diminuem a quantidade do S e P, criam a escória que diminui a velocidade de arrefecimento do cordão e assim diminuem as tensões e quantidade dos gases no cordão.

Para facilitar a ionização utilizam-se: giz (CaCO_3), mármore (CaCO_3), feldspato ($\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$), potassa (K_2CO_3), etc. Para criação dos gases que protegem o cordão de acção do ar utilizam-se: amido, farinha da madeira (serradura), celulose, etc. Para desoxidação utilizam-se: ferromanganes, ferrosilício, Al, grafita, etc. Para formar a escória que protege o cordão utilizam-se: feldspato ($\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$), quartzo (SiO_2), mármore (CaCO_3), rutilo (TiO_2), minério de Mn, etc.

Como elementos de liga utilizam-se ferrosilício, ferrocrómio, ferrotitânio, as vezes óxidos do Cu, Cr, etc. Como aglutinantes utiliza-se vidro líquido e as vezes dextina.

Pelo tipo do revestimento grosso destacam os revestimentos:

- **Ácidos** (contem minérios com óxidos de Fe e Mn e ferroligas), designa-se A. **O revestimento OMM-5** (do eléctrodo Э42) contem 37% do concentrado do titânio, 21% do minério do Mn, 13% do feldspato, 20% do ferromanganes e 9% do amido. O coeficiente da massa do revestimento 30÷38%. Utiliza-se para soldadura das construções responsáveis do aço de baixo teor de carbono sem liga com corrente constante e alternada. O coeficiente de superfusão atinge 8 g/(A·h).
O revestimento ЦМ-7 (do eléctrodo Э42) contem 33% do hematita (Fe_2O_3), 30% do ferromanganes, 32% do granito (SiO_2 - 70,18; TiO_2 - 0,39; Al_2O_3 - 14,47; Fe_2O_3 - 1,57; FeO - 1,78) e 5% do amido. O coeficiente da massa do revestimento 40÷45%. Utiliza-se para soldadura das construções responsáveis do aço de baixo teor de carbono sem liga em qualquer posição do cordão. O coeficiente de superfusão atinge 11 g/(A·h) e garante maior velocidade desoldadura.
- **De base – Б. O revestimento УОИИ-13/45** (ou 13/55, 13/65, 13/85, segundo número corresponde ao limite de ruptura do cordão) contem: 51÷54% do mármore (CaCO_3), 15÷18% do espatofluor (CaF_2), 8÷9% da areia do quartzo, 2 ÷ 7% do ferro manganes, 3 ÷ 10% do ferrodilício, 9 ÷ 16% do ferrotitânio e até 5% do ferromolibdénio. O coeficiente de massa do revestimento – 33÷38%. Serve para peças responsáveis do aço de construção e soldadura em qualquer posição do cordão com corrente constante de polaridade inversa. O coeficiente de superfusão do eléctrodo УОИИ-13/45 atinge 9,8 g/(A·h) e dos outros - 8 g/(A·h).
- **De celulose – Ц. O revestimento ОМА-2** contem: 36,5% do concentrado do Ti, 3,5% do minério do Mn, 2% do salitre, 6% do ferromanganes, 5% do ferrosilício e 47% da serradura. O coeficiente de massa do revestimento – 9÷10%. O coeficiente de superfusão atinge 10 g/(A·h).

O revestimento UQ-1 contem: 25% do rutilo, 20% do ferromanganes, 45% do celulose e 10% do talco. O coeficiente de massa do revestimento – $12 \div 15\%$

- **De rutilo – P.** O componente principal de criação da escoria é o rutilo – TiO_2 , contem também feldspato e magnesita. Para desoxidação utiliza-se ferromanganes.

O revestimento UM-9 contem 48% de rutilo, 30% do feldspato, 15% do ferromanganes, 5% da magnesita e 2% da dextrina. O coeficiente da massa do revestimento $0 \ 38 \div 42\%$. O coeficiente de superfusão – $9,5 \div 10,5 \text{ g}/(\text{A}\cdot\text{h})$.

O revestimento MP-3 contem 50% de rutilo, 18% do mármore ou do giz, 15,5% do ferromanganes, 5% da caolina, 1,5% da oxixelulose e 10% do talco. O coeficiente da massa do revestimento – $38 \div 42\%$. O coeficiente de superfusão $9 \text{ g}/(\text{A}\cdot\text{h})$.

Os eléctrodos CM-11 do tipo E42A utilizam-se largamente na construção civil e na montagem das construções metálicas. CM-11 tem o coeficiente de superfusão $10 \text{ g}/(\text{A}\cdot\text{h})$.

Os eléctrodos AHO-5 e AHO-6 do tipo E42A utilizam-se largamente para soldar as construções responsáveis de aço de baixo teor de carbono e têm o coeficiente de superfusão 11 e $8,5 \text{ g}/(\text{A}\cdot\text{h})$ respectivamente.

Os eléctrodos AHO-3 e AHO-4 do tipo E46 utilizam-se para construções que trabalham com cargas dinâmicas e têm o coeficiente de superfusão $8 \text{ g}/(\text{A}\cdot\text{h})$.

Os eléctrodos OMA-2 do tipo E42 (ou eléctrodos com revestimento MT) utilizam-se para soldadura das chapas com espessura de 0,8 a 2,5 mm colocando de baixo as chapas de cobre para extracção do calor e têm o coeficiente de superfusão $9,5 \text{ g}/(\text{A}\cdot\text{h})$.

No caso de soldadura submarina utilizam-se os eléctrodos com revestimento muito grosso, com coeficiente de massa do revestimento de 140 a 170%. Utiliza-se o revestimento que contem giz, minério de ferro, rutilo, feldspato e vidro líquido. O revestimento cobre-se de cima com algumas camadas de parafina, verniz ou celulóide dissolvida na acetona.

No caso de uso dos eléctrodos nus (não revestidos) para protecção do banho líquido do ar pode ser utilizado:

- Fundente, para cordões horizontais;
- Gás activo (CO_2 , N_2 , H_2), para soldar materiais ferrosos (soldadura MAG);
- Gás inerte (Ar, Ne, He), para soldar materiais não ferrosos (soldadura MIG).

Escolha dos fundentes

Tipo do fundente	Destino do fundente
АН-348-А; АН-348-АМ; АН-348-В; АН-348-ВМ; ОСЦ-45; ОСЦ-45М; АН-60; ФЦ-9	Soldadura e superfusão dos aços ao carbono e com liga pobre
АН-8	Soldadura sobre escória dos aços ao carbono e com liga pobre
АН-15М; АН-18; АН-20С; АН-20СМ; АН-20П	Soldadura automática e superfusão dos aços de liga rica
АН-22	Soldadura sobre escória e automática dos aços com liga pobre
АН-26С; АН-26СП; АН-26П	Soldadura automática e semiautomática dos aços inoxidáveis e termoresistentes
АН-17М; АН-43; АН-47	Soldadura e superfusão dos aços ao carbono e com liga pobre de elevada e alta resistência

Composição dos fundentes

Таблица 10

Марка флюса	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
АН-348-А	41,0...44,0	34,0...38,0	≤ 6,5	5,0...7,5	≤ 4,5
ОСЦ-45	38,0...44,0	38,0...44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0
АН-348-АМ	41,0...44,0	34,0...38,0	≤ 6,5	5,0...7,5	≤ 4,5
ОСЦ-45М	38,0...44,0	38,0...44,0	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0
АН-60	42,5...46,5	36,0...41,0	3,0...11,0	0,5...3,0	≤ 5,0
АН-8	33,0...36,0	21,0...26,0	4,0...7,0	5,0...7,5	11,0...15,0
АН-20С	19,0...24,0	≤ 0,5	3,0...9,0	9,0...13,0	27,0...32,0
АН-20СМ					
АН-20П					
АН-22	18,0...21,5	7,0...9,0	12,0...15,0	11,5...15,0	19,0...23,0
АН-26СП	29,0...33,0	2,5...4,0	4,0...8,0	15,0...18,0	19,0...23,0
АН-26С					
АН-26П					
ФЦ-9	38,0...41,0	38,0...41,0	≤ 6,5	≤ 2,5	10,0...13,0

Марка флюса	CaF ₂	K ₂ O и Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	не более		
				S	P	C
АН-348-А	4,0...5,5	—	2,0	0,15	0,12	—
ОСЦ-45	6,0...9,0	—	2,0	0,15	0,15	—
АН-348-АМ	3,5...4,5	—	2,0	0,15	0,12	—
ОСЦ-45М	6,0...9,0	—	2,0	0,15	0,10	—
АН-60	5,0...8,0	—	1,5	0,15	0,15	—
АН-8	13,0...19,0	—	1,5...3,5	0,15	0,15	—
АН-20С	25,0...33,0	2,0...3,0	1,0	0,08	0,05	—
АН-20СМ						
АН-20П						
АН-22	20,0...24,0	1,0...2,0	1,0	0,05	0,05	—
АН-26СП	20,0...24,0	—	1,5	0,10	0,10	0,05
АН-26С						
АН-26П						
ФЦ-9	2,0...3,0	—	2,0	0,10	0,10	—

Fundentes cerâmicas permitem facilmente adicionar elementos de liga no cordão.

Componentes do fundente	Designação do fundente			
	K-2	KC-1	KBC-19	K-11
Consentrado do Ti	55	—	—	—
Minério de Mn	—	—	54	60
Areia de quartzo	—	—	30	20
Pó de Al	—	—	2	—
FeMn	14	0,5	—	—
FeSi	8	0,8	7	10
FeTi	—	6,0	—	—
TiO ₂	—	15,0	—	—
Marmore	—	57,7	—	—
Feldspato	13	—	—	—
Fluorita	10	20,0	7	10
Vidro líquido	13	15,0	15...17	17

Escolha do equipamento para soldadura

O equipamento para soldadura escolhe-se em função do método escolhido de soldadura, do tipo de produção, dos regimes necessários de soldadura e dos materiais a soldar.

No caso de uso da soldadura por arco voltaico com eléctrodos nus utiliza-se a corrente contínua que se garante por inverteres. A corrente contínua garante o arco mais estável e no caso dos eléctrodos revestidos, o que é mais cómodo para soldar mas os inverteres são mais caros por isso utilizam-se mais na produção em série e em massa. Na produção unitária e série pequena mais usada é a corrente alternada que se recebe através do transformador de soldadura que são mais baratos de que inverteres. Além disso os transformadores trabalham melhor com corte circuitos.

A amperagem necessária I em A geralmente indica-se na etiqueta dos eléctrodos mas pode ser calculada pelas fórmulas:

$$I = (30 \div 60) \cdot N_e \cdot D_e \text{ ou}$$

$$I = (40 \div 50) \cdot N_e \cdot D_e \text{ para } D_e = 4 \div 6 \text{ mm e } I = (20 + 6 \cdot D_e) \cdot N_e \cdot D_e \text{ para outros } D_e,$$

Onde N_e – numero dos eléctrodos no jogo; D_e é o diâmetro do eléctrodo em mm.

O coeficiente maior garante maior produtividade. Para soldar chapas finas (< 3 mm) utiliza-se o coeficiente menor. Para soldar chapas grossas, para soldadura submarina e sobre escória utiliza-se o coeficiente maior.

Correcção da amperagem. Para soldar peças com espessura menor de $0,5 \cdot D_e$ a amperagem diminui-se em 10÷15%. Para soldar peças com espessura maior de $3 \cdot D_e$ a amperagem aumenta-se em 10÷15%. Para cordões verticais a amperagem diminui-se em 10÷15%. Para cordões de teto a amperagem diminui-se em 15÷20%.

Para soldadura trifásica com dois eléctrodos do diâmetro de 5 mm a amperagem escolhe-se segunda a tabela em baixo.

Espessura do material, mm	10	15	20	30
I em A	180-200	200-250	250-300	300-350

Para acender o arco é necessária tensão $U = 40\div 70$ V. Depois disso, para soldar com eléctrodos metálicos utiliza-se tensão $U = 18\div 30$ V e para soldar com eléctrodos de carvão – $U = 30\div 40$ V. Para soldadura submarina utiliza-se a tensão inicial de 75 a 90 V e depois de 30 a 40 V.

A tensão do arco estável pode ser calculada pela fórmula:

$$U_a = a + b \cdot L_a,$$

onde a – é a queda da tensão no cátodo e ânodo em V, b – coeficiente da queda da tensão ao longo do arco em V/mm; L_a – comprimento do arco em mm.

Existem os transformadores e inverteres (rectificadores, conversores) individuais e para alguns postos de trabalho que se usam na produção em série e em massa.

Para soldadura em CO₂ (MAG) utiliza-se a corrente continua inversa

Espessura das peças, mm	Diâmetro do eléctrodo	Amperagem	Tensão, V	Velocidade da soldadura, m/h	Consumo do gás, l/min
0,8...1,5	0,5...0,8	60...100	17...20	17...20	5...7
1,5...2,0	0,8...1,0	80...120	19...20	16...20	6...8
2,0...3,0	1,0...1,2	100...130	19...20	14...16	8...10
3,0...4,0	1,2...2,0	120...200	20...24	16...20	12...16

Para soldadura em árgon (MIG) utiliza-se a corrente continua directa:

Diâmetro do arame do eléctrodo	0,5	0,8	1,0	1,6	2,0
Saliência do eléctrodo	5...6	6...7	7...9	10...12	12...15
Amperagem mínima	25...30	35...40	45...55	80...90	100...130

Para soldadura em árgon TIG utiliza-se a corrente continua directa ou corrente alternada:

Diâmetro do electrodo de W, mm	1,5...2,0	2,5...3	3,5...4	4,5...6
Diâmetro do furo da tubeira, mm	5...7	7...9	9...12	12...14
Consumo do Ar, l/min	2...3	4...5	6...8	10...18

No processo de soldadura pelo arco voltaico é necessário obrigatoriamente usar a mascara protectora, pois os raios do arco são perigosos para os olhos. Além disso é necessário usar luvas especiais abotoadas sobre mangas, avental e ser cauteloso pois durante soldadura formam-se os salpicos do metal a soldar e do eléctrodo. Estes salpicos podem queimar a roupa e podem ser a causa de um incêndio.

Escolha dos regimes de soldadura

Sobre os regimes de soldadura compreende-se:

- O diâmetro do eléctrodo; o tipo;
- A amperagem e tensão da corrente eléctrica;
- A distância do eléctrodo até a peça a soldar;
- A disposição e trajectória de deslocamento do eléctrodo;
- A espessura de um cordão, o número e a sequências de execução das soldas, das camadas;
- O consumo dos eléctrodos, a velocidade e o tempo de soldadura;
- A pressão e o consumo dos gases;
- A temperatura do arco, da chama, do raio laser, do plasma, etc.

Soldadura por arco voltaico

O diâmetro dos eléctrodos escolhe-se segundo as recomendações apresentadas no capítulo da escolha dos eléctrodos. Em função dos parâmetros do eléctrodo e da marca dos materiais a soldar escolhe-se a amperagem e voltagem da corrente eléctrica. As recomendações da escolha da amperagem e voltagem vejam no capítulo anterior. A regulação do transformador ou inverter (rectificador) efectua-se por meio dos manípulos correspondentes.

Alem disso no caso de uso da corrente continua a temperatura do arco perto do ânodo é maior de que perto do cátodo em algumas centenas °C. Por isso durante a **soldadura das chapas com espessura 2÷3 mm** para não queima-las há de usar corrente inversa. Quer dizer, o eléctrodo há de ligar a potencial positivo e chapas a potencial negativo.

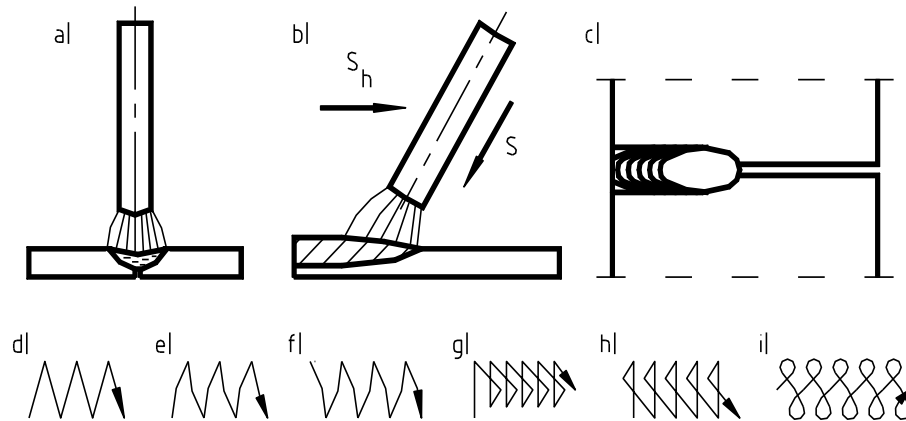
A corrente inversa utiliza-se também:

- Para soldadura MAG em CO₂, no caso de soldadura dos aços inoxidáveis austeníticos (com Cr e Ni),
- Para soldadura MIG em Ar das ligas de cobre, etc.

Nos outros casos geralmente utiliza-se a corrente continua directa (eléctrodo negativo e peças positivas).

Para soldadura submarina utiliza-se a corrente directa.

O eléctrodo durante a soldadura desloca-se ao longo do seu eixo e ao longo do cordão segundo as trajectórias especiais **para garantir a largura necessária do cordão** e sua qualidade (veja na figura em baixo). Durante soldadura das chapas finas elas unem-se sem folga e o eléctrodo desloca-se ao longo do cordão sem movimentos transversais. Sem movimentos transversais realiza-se também a soldadura com penetração profunda, com jogo dos eléctrodos, etc.



a) Vista ao longo de costura; b) Vista de lado; c) Vista de cima; d) Trajectória para soldar chapas sem chanfros; e, f) Para cordões de junta com chanfros e cordões angulares com cateto < 6 mm e $D_e < 4$ mm; g, h) Para cordões angulares com cateto > 6 mm e cordões de junta com chanfros; i) Para soldar aços de liga rica.

No processo de soldagem o eléctrodo inclina-se sob um ângulo de 30° aproximadamente no sentido de folga entre as peças (figura b). Depois é necessário acender o arco o que se faz de seguinte maneira.

No início realiza-se o contacto do eléctrodo com a peça a soldar perto da folga e depois o eléctrodo afasta-se da peça a uma distância de $(0,5 - 1,2) D_e$. Quando se obtém o arco estável, então, se realiza um movimento lento do eléctrodo ao longo da folga entre as peças a soldar segundo uma trajectória (figura d - i). Assim forma-se a costura com largura e comprimento necessário.

No processo de soldadura é necessário manter a distância certa do eléctrodo até a peça a soldar, o comprimento do arco L_a :

- O arco de comprimento de $2 \div 4$ mm considera-se curto e utiliza-se para soldar peças de elevada e alta responsabilidade pois garante melhor qualidade do cordão;
- O arco de comprimento de $4 \div 6$ mm considera-se normal e utiliza-se para peças de responsabilidade normal e elevada;
- O arco de comprimento mais de 6 mm - longo e utiliza-se para peças de responsabilidade baixa.

O metal do eléctrodo passa para cordão por meio das forças magnéticas, eléctricas, de gravidade e fluxo dos gases. O cordão em 30-80% fica formado do metal do eléctrodo e resto do metal das peças a soldar.

Destacam seguintes variantes da transferência do metal do eléctrodo para cordão:

- Por curto-circuito - serve para cordões em qualquer posição e também para soldar chapas;
- Por gotas grandes, glóbulos - servem para cordões no plano horizontal,
- Por gotas pequenas, spray - servem para cordões no plano horizontal.

Com aumento da espessura do revestimento e da amperagem da corrente diminuem-se as dimensões das gotas do metal, melhora-se a qualidade do cordão.

No caso de soldadura das peças com espessura maior que 10 mm o cordão faz-se em algumas camadas. A espessura de uma camada do cordão: $E_{1c} = (0,8 \div 1,2) \cdot D_e$.

A área da secção transversal de uma camada do cordão: $F_{1c} = (6 \div 12) \cdot D_e$.

O número das camadas: $N_c = F_c / F_{1c}$ Arredonda-se até valor inteiro.

Onde F_c – área da secção transversal do cordão em mm^2

A massa do metal do cordão G_c em kg calcula-se pela fórmula:

$$G_c = L_c \cdot F_c \cdot \gamma,$$

Onde L_c comprimento do cordão em m; F_c – área da secção transversal do cordão em m^2 ; γ - densidade do material do eléctrodo em kg/m^3 .

Pois o metal do cordão fica constituído do metal das peças e dos eléctrodos **a massa dos eléctrodos fundidos G_e** em kg determina-se pela fórmula:

$$G_e = G_c \cdot C_{mec} \cdot (1 + C_{pme} + C_{mr}),$$

Onde C_{mec} - coeficiente que indica a quantidade do metal dos eléctrodos que entra no cordão; C_{pme} - coeficiente de perda do material do eléctrodo em queima e salpicos; C_{mr} – coeficiente da massa do revestimento, toma-se dos parâmetros do revestimento.

Para soldadura manual $C_{mec} = 0,3 \div 0,8$. No caso de soldadura das peças grossas com chanfros grandes e na soldadura sobre camada de escória $C_{mec} = 0,7 \div 0,8$. Neste caso a maior parte do metal do cordão é metal dos eléctrodos. Para soldadura automática das peças sem chanfros $C_{mec} = 0,3 \div 0,4$.

Para soldadura sobre fundente, sobre escória $C_{pme} = 0,02 \div 0,05$. Para soldadura manual com eléctrodos revestidos, soldaduras MIG, MAG - $C_{pme} = 0,25 \div 0,3$.

O tempo de combustão do arco t_{ca} em h (ou de soldadura própria), calcula-se pela fórmula:

$$t_{ca} = 10^3 \cdot G_c / (C_{se} \cdot I),$$

Onde C_{se} – coeficiente de superfusão do eléctrodo, geralmente varia de 4,5 g/(A·h) para eléctrodos de aço de revestimento fino e soldadura manual, até 14,5 g/(A·h) para eléctrodos de revestimento grosso e soldadura sobre escória (toma-se das características dos eléctrodos escolhidos das páginas 80÷82); I – amperagem da corrente.

A velocidade de soldadura V_s em cm/h:

$$V_s = C_{se} \cdot I / (\gamma \cdot F_c),$$

Onde γ - densidade do metal do eléctrodo em g/cm^3 ; F_c – área da secção transversal do cordão em cm^2 .

A temperatura do arco depende da potencial de ionização U_i do material do eléctrodo e aproximadamente pode ser determinada pela fórmula:

$$t_a^0 = 810 \cdot U_i - 273, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

O potencial de ionização U_i de alguns metais: K – 4,32; Na – 5,12; Al – 5,96; Cr – 6,74; Mn – 7,6; Fe – 7,83; Si – 7,94; C – 11,24; CO_2 – 14,3; N – 14,51; Ar – 15,7.

A quantidade de calor que se emite durante soldadura por arco voltaico pode ser calculado pela fórmula:

$$Q = I \cdot U_a \cdot t_{ca},$$

onde I – amperagem da soldadura; U_a – a tensão do arco em V; t_{ca} – tempo de combustão do arco em s. No caso da soldadura com eléctrodos de revestimento fino só 50÷60% da calor utiliza-se para aquecimento do metal, resto sai para atmosfera. No caso de uso dos eléctrodos do revestimento grosso 70÷85% do calor utiliza-se para aquecimento do metal, no caso de soldadura com argon – 50÷60% e sobre fundente - 85÷93%. No caso do uso da corrente continua 36÷38% do calor extrai-se perto do cátodo e 42÷43% perto do ânodo.

Soldadura de contacto

A quantidade de calor em J que se emite na zona de contacto das peças durante a soldadura por contacto determina-se pela fórmula:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t,$$

Onde I – amperagem da corrente em A; R – resistência eléctrica da zona de contacto das peças a soldar em Ω ; t – tempo de acção da corrente em s.

Utilizam-se os regimes rígidos de soldadura de contacto com densidade da corrente de 160÷360 e mais A/mm^2 e duração do ciclo de 0,1÷1,5 s, e soáveis com densidade da corrente de 70÷160 A/mm^2 e duração do ciclo de 2÷3 s.

O diâmetro dos eléctrodos para soldadura de contacto por pontos

$$D_e = E_1 + E_2 + (3 \div 4),$$

No caso de soldadura de contacto por pontos das chapas com espessura até 4 mm do aço de baixo teor de carbono utiliza-se a densidade da corrente 300÷360 A/mm^2 , duração do ciclo de 0,8÷1,1 s e pressão de 15÷70 MPa. Para chapas de aço de baixo teor de carbono com espessura maior de 4 mm utiliza-se a densidade da corrente até 160 A/mm^2 , duração do ciclo de 2,5÷3 s e pressão de 100÷120 MPa.

Para soldadura de contacto por pontos das chapas de liga de alumínio utiliza-se a densidade da corrente até 1600 A/mm^2 , duração do ciclo de 0,1÷0,25 s e pressão até 150 MPa.

Na soldadura de contacto contínuo unem-se chapas com espessura até 20 mm, fazem tubos de chapa com diâmetro 14÷400 mm. Para soldar chapas com espessura de 1 mm utilizam-se rolos com largura de contacto de 6 mm, a corrente de 8÷16 kA, duração do ciclo de 0,04÷0,06 s e força de compressão até 4 kN. A velocidade de soldadura atinge 2 m/min. Para soldar chapas com espessura de 2 mm utilizam-se rolos com largura de contacto de 8,5÷10 mm, a corrente até 20 kA, duração do ciclo de 0,08÷0,12 s e força de compressão até 6,5÷8,4 kN. A velocidade de soldadura atinge 2

m/min. Para soldadura das ligas de alumínio utiliza-se a corrente de 22÷40 kA, força com pressão até 2,5÷5,4 kN. A velocidade de soldadura atinge 1 m/min.

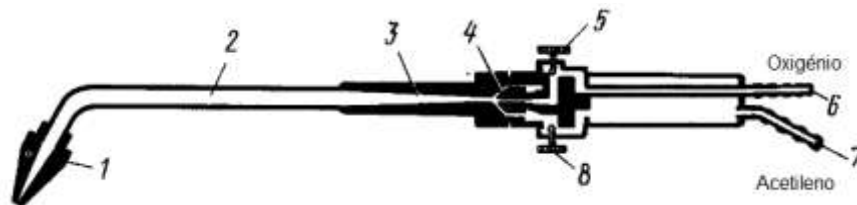
Soldadura a gás

Mais usada é a soldadura de acetileno-oxigénio. Utiliza-se principalmente para soldar peças com espessura até 6 mm, tubos até 100 mm, na reparação das peças fundidas grossas de ferro fundido, ligas de Cu e Al. A soldadura a gás das peças com espessura maior de 4÷6 mm tem menor produtividade de que a soldadura por arco voltaico. Além disso, soldadura a gás é mais cara de que a soldadura por arco voltaico.

Além de união das peças a gás largamente realiza-se o corte das peças.

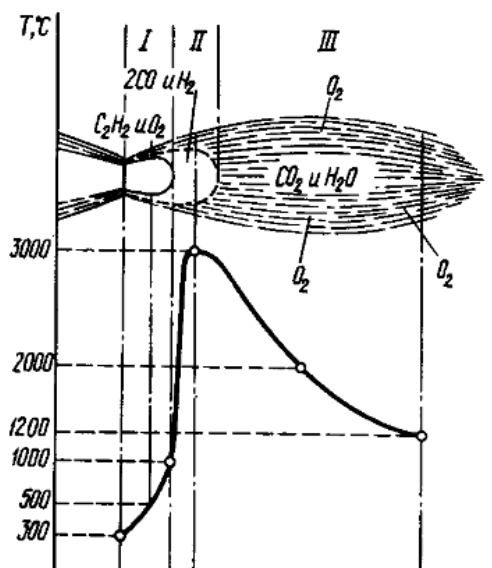
O posto de trabalho neste caso contém balões com gases de combustão e do oxigénio sob pressão, carinho, maçarico de soldadura (apresentado em baixo) com jogo de bocais, mangueirais com diâmetro interno de 6, 9, 12 e 16 mm para fornecimento dos gases para maçarico, jogo dos dispositivos de montagem, jogo de ferramentas.

Operário tem que usar óculos com vidros de protecção, luvas, avental, etc.



O acetileno encontra-se em balões geralmente brancos sob pressão máxima de 1,9 MPa, que têm volume de 40 l e contêm $\approx 5,5 \text{ m}^3$ do acetileno. O oxigénio encontra-se em balões geralmente azuis sob pressão máxima de 15,15 MPa, que têm volume de 40 l e contêm $\approx 6 \text{ m}^3$ do oxigénio. Os gases fornecem-se para maçarico com redução da pressão. O redutor do oxigénio garante a pressão de trabalho de 0,1÷1,5 MPa e o

consumo do oxigénio de $7,5\div 60 \text{ m}^3/\text{h}$. O redutor de acetileno garante a pressão de trabalho de 0,01÷0,12 MPa e o consumo do acetileno de $3\div 5 \text{ m}^3/\text{h}$.



Pode-se distinguir três zonas da chama:

1. Núcleo, perto do maçarico (contém C_2H_2 e O_2),
2. Zona redutora, onde deve ficar a zona do cordão e onde se coloca o material de adição (tem maior temperatura máxima de $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ em $3\div 5 \text{ mm}$ do núcleo e contém 2CO e H_2) e
3. Zona principal da chama (contém CO_2 , H_2O , N_2 e O_2).

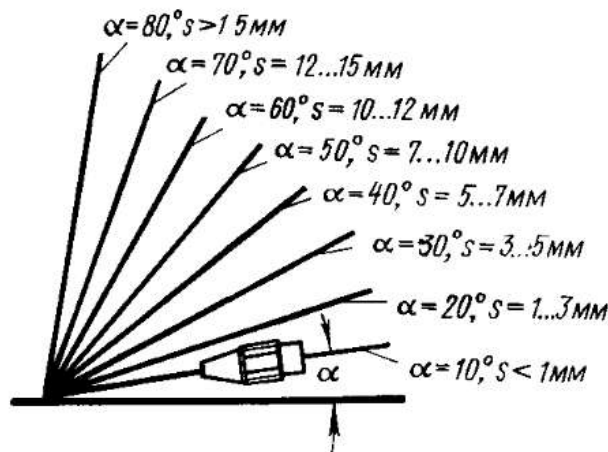
Em função da relação entre quantidade de oxigénio Q_O e acetileno Q_A destacam:

1. Chama normal (redutora), recebe-se quando $Q_O/Q_A = 1,1\div 1,3$ e utiliza-se para soldadura dos aços;

2. Chama oxidável, recebe-se quando $Q_O/Q_A > 1,3$, tem cor azul-violeta e menor comprimento, serve para soldadura dos latões;
3. Chama carburante, recebe-se quando $Q_O/Q_A < 1,1$, tem chama amarela com núcleo de auréola verde, utiliza-se para soldar ferros fundidos, para superfusão das ligas duras, para carburação do cordão.

A regulação da chama realiza-se através da pressão do oxigénio e acetileno na saída. Com variação da pressão além do tipo da chama varia-se também o comprimento da chama e o consumo dos gases.

Para soldar materiais mais grossos e de maior condutibilidade térmica há de usar chama de maior potência. A potência específica da chama P_{ch} determina o caudal do acetileno em l/h por 1 mm da espessura das peças a soldar. Para soldadura dos aços



de baixo teor de carbono, de liga pobre, dos ferros fundidos, das ligas de Al e de Cu utiliza-se a chama da potência específica de $80 \div 150$ l/(h·mm) e para soldas cobre - de $150 \div 220$ l/(h·mm).

Consumo do gás $Q_{gás} = P_{ch} \cdot S$

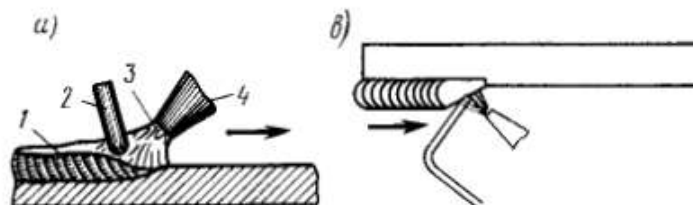
Há de escolher bem o ângulo da inclinação da chama em função da espessura da peças e da condutibilidade do material a soldar. Quanto maior é a espessura das peças e a condutibilidade

do material a soldar tanto maior deve ser o ângulo α de inclinação da chama.

Destacam dois métodos principais de soldadura a gás: direito e esquerdo.

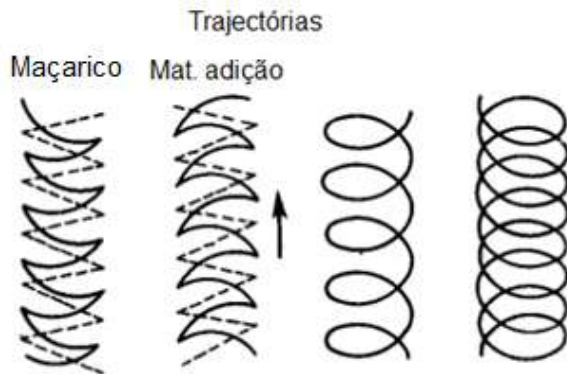
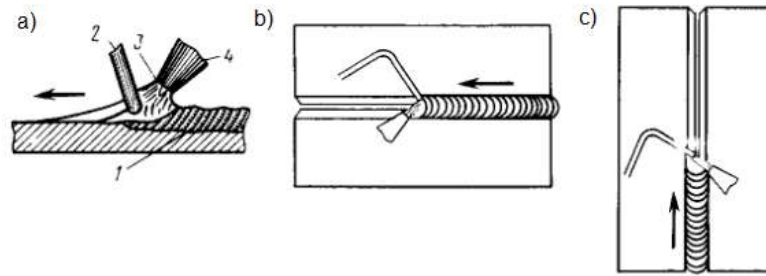
No método direito o deslocamento realiza-se do lado esquerdo para direito (a).

O maçarico 4 encontra-se em frente, o material de adição 2, a chama 3 e o cordão 1 de traz. Neste caso realiza-se boa protecção do cordão do ar, o arrefecimento lento e melhor qualidade do cordão. O método direito utiliza-se para soldar peças com espessura maior de 5 mm e para fazer cordões de teto (b). No caso de uso do método direito utiliza-se a potência da chama maior em $20 \div 25\%$.



No método esquerdo o deslocamento realiza-se de lado direito para esquerdo (a).

Neste caso o material de adição 2 e chama 3 encontra-se de frente e o maçarico 4 e cordão 1 de traz, realiza-se o aquecimento prévio do material. Este método garante o cordão de melhor aspecto e ele utiliza-se para soldar peças finas e para fazer cordões na parede horizontais (b) e verticais (c) de baixo para cima.



Durante soldadura o maçarico e material de adição realizam o deslocamento ao longo do cordão e no sentido perpendicular ao cordão. Além disso o material de adição desloca-se no sentido contrário ao sentido do maçarico.

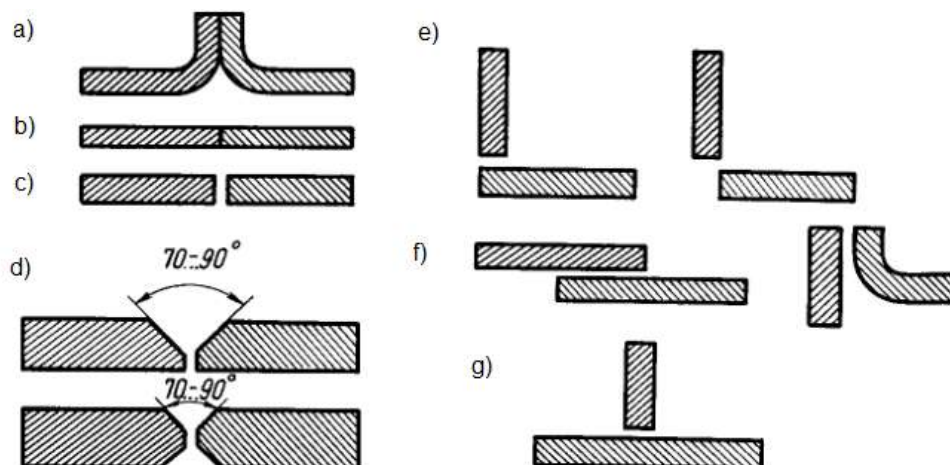
Para garantir boa qualidade do cordão é necessário preparar bem bordos das peças, escolher bem potência do maçarico, regular bem a chama, escolher bem o material de

adição, determinar a disposição certa e o sentido de deslocamento do maçarico.

Os bordos das peças podem ser tratados no início com chama do maçarico para queimar escória, óleo, tinta, etc. Depois há de tratar os bordos com escova metálica na distância de 20÷30 mm de cada lado do cordão até o brilho metálico. Pode-se fazer o ataque químico dos bordos, lavar e secar peças.

As peças com espessura até 2 mm pode-se soldar com reviramento dos bordos e sem material de adição (a) ou de topo sem tratamento dos bordos e sem folga entre peças mas com material de adição (b);

As peças com espessura de 2÷5 mm pode-se soldar sem tratamento dos bordos mas com folga entre peças e com material de adição (c). Para peças mais grossas faz-se o tratamento dos chanfros de um ou de dois lados (d).



As uniões sobrepostas e em T pode-se fazer só com peças da espessura até 3 mm. No caso contrário aparecem grandes tensões internas, deformações e fendas.

Para peças com espessura até 6÷8 mm fazem cordão em uma camada, até 10 mm em duas camadas e para peças mais grossas em 3 e mais camadas. A espessura de uma

camada do cordão varia de 3÷7 mm. Antes de fazer a camada seguinte há de limpar a camada anterior com escova metálica. A soldadura faz-se por cordões curtos em diferentes zonas das peças.

Para aços de baixo teor de carbono utiliza-se a chama normal com potência específica da chama de 100÷150 l/(h·mm). Como material de adição pode ser utilizado o arame CB-08ΓA, CB-10Γ2, CB-08ΓC, CB-08Γ2C.

Para aços de média teor de carbono utiliza-se a chama um pouco carburante com potência específica da chama de 80÷100 l/(h·mm), o método esquerdo de deslocamento. As peças com espessura mais de 3 mm recomenda-se aquecer antes de soldadura até 250÷300 °C ou localmente até 650÷700 °C. Como material de adição pode ser utilizado o arame CB-08ΓA, CB-10Γ2, CB-08ΓC, CB-08Γ2C, CB-12Γ2C.

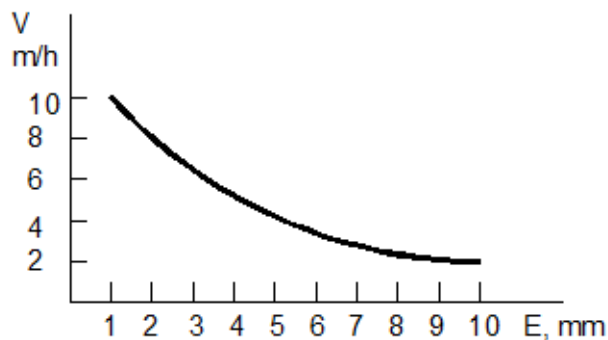
O diâmetro do arame de adição para soldadura esquerda das peças com espessura até 15 mm determina-se pela fórmula:

$$D_a = E/2 + 1$$

Para soldadura direita o diâmetro do arame de adição: $D_a = E/2$

Para soldadura das peças com espessura maior de 15 mm utiliza-se o diâmetro do arame de adição de 6÷8 mm.

A massa necessária do arame determina-se segundo as fórmulas na página 88.



A velocidade da soldadura a gás V_s aproximadamente pode-se determinar pelo diagrama a esquerda.

O tempo de soldadura determinamos pela fórmula: $t_s = L_c/V_s$

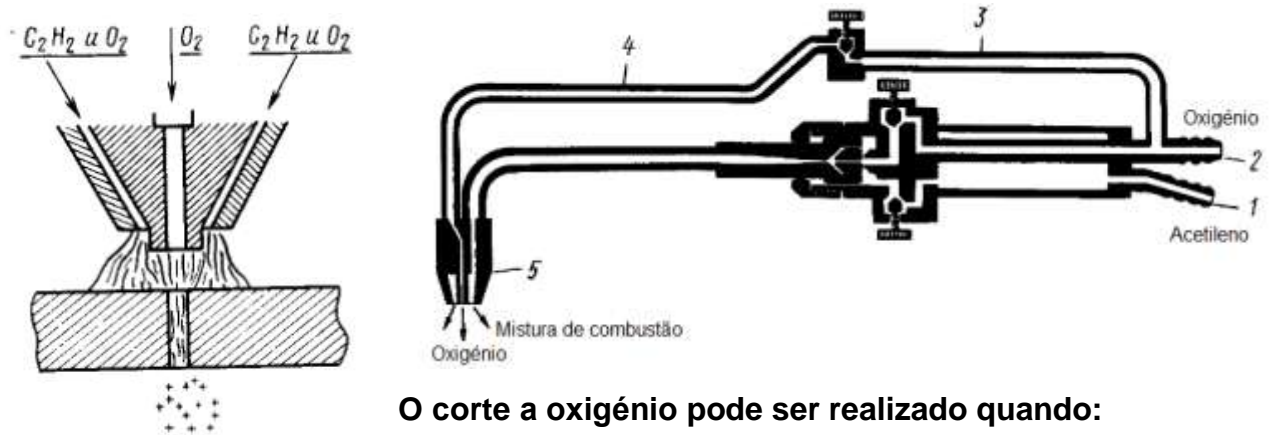
O volume necessário do gás:

$$V_{gás} = Q_{gás} \cdot t_s$$

Depois da soldadura a gás dos aços recomenda-se fazer martelamento do cordão no estado quente e normalização posterior à temperatura de 800÷900 °C.

Corte a oxigénio

Por meio de gases acetileno e oxigénio pode-se cortar aços sem liga e de liga pobre. O corte dos aços inoxidáveis, ferros fundidos e ligas coloridas a oxigénio faz-se com fundente. Em baixo está apresentado o maçarico de corte a oxigénio.



O corte a oxigénio pode ser realizado quando:

1. A temperatura de fusão do material é maior da temperatura de redução dele em oxigénio. Cobrem-se bem aços de baixa teor de carbono mas com aumento do teor de carbono e dos elementos de liga o corte dificulta-se.
2. A temperatura de fusão dos óxidos deve ser menor da temperatura do metal principal.
3. A escória que aparece durante corte deve ter boa fluidez e sair da zona de corte.
4. Os materiais tem que ter pequena condutibilidade térmica.
5. Durante corte deve extrair-se grande quantidade do calor para facilitar corte.

A velocidade de corte a oxigénio dos aços depende da espessura e do tipo do material a cortar, da construção do maçarico. Pode-se cortar peças com espessura até algumas centenas mm com velocidade de 80÷1600 mm/min.

Antes de cortar há de limpar bem as superfícies da peça próximas a zona do corte de lama, óleo, carepa, ferrugem.

A pressão do oxigénio escolha-se em função da espessura do material a cortar.

Espessura do metal, mm	5÷20	20÷40	40÷60	60÷100	100÷200
Pressão do oxigénio, MPa	0,3÷0,4	0,4÷0,5	0,5÷0,6	0,6÷0,9	1÷1,1

A largura do corte depende da espessura do material a cortar e do método de corte

Espessura do material, mm	5÷50	50÷100	100÷200	200÷300
Largura do corte manual, mm	3÷5	5÷6	6÷8	8÷10
Largura do corte de máquina, mm	2÷4,5	4÷5	5÷6,5	6,5÷8

Para cortar aços inoxidáveis utiliza-se fundente ПЖ5М e 25÷50% da carepa. Para cortar ferros fundidos utiliza-se fundente ПЖ5М e 30÷35% do FeP. Para cortar cobre e suas ligas utiliza-se fundente da mistura pó de Fe, 15÷20% pó de Al e 10÷15% FeP. Para corte com fundente utiliza-se a potência da chama maior em 15÷25%.

Aços inoxidáveis recomenda-se preaquecer até 300÷400 °C e ligas de cobre – até 200÷350 °C.

Aços inoxidáveis com espessura de 10÷200 mm cortam-se com velocidade de 230÷760 mm/min. Para cortar 1 m de comprimento gasta-se 0,2÷2,75 m³ do oxigénio, 0,017÷0,13 m³ do acetileno e 0,2÷1,3 kg do fundente.

O corte dos ferros fundidos com espessura de 50 mm realiza-se com velocidade 70÷100 mm/min. Para cortar 1 m de comprimento gasta-se 2÷4 m³ do oxigénio, 0,16÷0,25 m³ do acetileno e 3,5÷6 kg do fundente. Parecidos dados tem corte das ligas de cobre.

Na tabela em baixo está indicada a precisão que pode ser garantida por corte a oxigénio e a plasma

Classe de precisão	Método de corte	Espessura da peça, mm	Desvios limites em em mm em função da dimensão nominal			
			≤ 500	500...1500	1500...2500	2500...5000
1	A oxigénio e a plasma	5...30 31...60	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5
	A oxigénio	61...100	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0
2	A oxigénio e a plasma	5...30 31...60	±2,0 ±2,5	±2,5 ±3,0	±3,0 ±3,5	±3,5 ±4,0
	A oxigénio	61...100	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5
3	A oxigénio e a plasma	5...30 31...60	±3,5 ±4,0	±3,5 ±4,0	±4,0 ±4,5	±4,5 ±5,0
	A oxigénio	61...100	±4,5	±4,5	±5,0	±5,5

Na tabela em baixo está apresentada a rugosidade que pode ser garantida por corte a oxigénio e a plasma.

Espessura da peça, mm	Método de corte	Perpendicularidade, mm			R _a , mm		
		Classe			Classe		
		1	2	3	1	2	3
5...12	A oxigénio	0,2	0,5	1,0	0,050	0,080	0,160
	A plasma	0,4	1,0	2,3	0,050	0,100	0,200
13...30	A oxigénio	0,3	0,7	1,5	0,060	0,160	0,250
	A plasma	0,5	1,2	3,0	0,060	0,200	0,320
31...60	A oxigénio	0,4	1,0	2,0	0,070	0,250	0,500
	A plasma	0,7	1,6	4,0	0,070	0,320	0,630
61...100	A oxigénio	0,5	1,5	2,5	0,085	0,500	1,000
	A plasma	—	—	—	—	—	—

Soldadura das ligas de Cu

A soldadura das ligas de Cu pode ser realizada com eléctrodos não fusíveis do carvão ou da grafite e fusíveis.

1. No caso de uso dos eléctrodos não fusíveis utiliza-se a corrente contínua directa.
O material de adição pode ser feito de cobre M1, MCp1, da bronze БрОФ6,5-0,5, do latão ЛК62-0,5, ЛМц58-2, ЛК.

Podem ser usados seguintes fundentes para proteger cordão:

1. 68% de bórax, 15% de sódio fosfórico, 15% do ácido de Si, 2% do carvão de madeira;
2. 50% de bórax, 15% de sódio fosfórico, 15% do ácido de Si, 20% do carvão de madeira;
3. 94÷96% de bórax e 4÷6% do Mg

Os eléctrodos fusíveis podem ser feitos de:

1. Cobre M1 com revestimento de 50% de FeMn, 8% de FeSi, 12% de feldspato, 10% de fluorita, 20% de vidro líquido;
2. Bronze БрКМц3-1 com revestimento de 17,5% do minério de Mn, 32% do FeSi, 32% de fluorita, 16% de grafita de prata, 2,5% de Al e de vidro líquido.
3. Latão com 38,5÷42,5% de Zn, 4÷% de Mn, 9,5% de Al, 0,5÷1,5% de Fe com revestimento em duas camadas: I – minério de Mn, 30% de concentrado de Ti, 15% de FeMn, 20% de giz, 5% de K₂SO₄ e II – de escória de boro e vidro líquido.

Pode ser utilizada a soldadura MIG ou automática sobre fundente com eléctrodos nus de cobre M1 ou de bronze БрКМц3-1. Para soldadura sobre fundente pode ser usado o fundente OCL-45, AH-348A e AH-20. No caso de uso dos eléctrodos fusíveis utiliza-se a corrente contínua inversa:

$$U = 38 \div 40 \text{ V}, \quad I = 100 \cdot D_e$$

A velocidade da soldadura fica de 15÷25 m/h. As peças com espessura mais de 8 mm há de pré-aquecer.

A soldadura automática dos latões faz-se sobre fundente AH-348^a ou OCL-45 com corrente continua directa, eléctrodo de 2 mm do diâmetro de M1, U = 38÷42 V, I = 300÷480 A. A 100 porções do fundente adiciona-se 10 porções da massa o ácido bórico e 20 porções da soda calcinada. As superfícies a soldar limpam-se até brilho e desengordam-se com solução aquosa de 10% do ácido nítrico.

Soldadura a gás há de realizar com chama de potencia elevada, rapidamente e por um passo. Para peças com espessura até 10 mm utiliza-se a potência específica da chama 150 l/(h·mm). Para peças com espessura mais de 10 mm utiliza-se a potência específica da chama 200 l/(h·mm).

Soldadura das ligas de Al

A soldadura das ligas de Al pode ser realizada com eléctrodos não fusíveis do carvão ou com eléctrodos fusíveis. Como material de adição utiliza-se o alumínio puro A0, A1 ou ligas AM μ , AK. O diâmetro do eléctrodo toma-se de 6÷15 mm, em função da espessura do material a soldar. Utiliza-se a corrente contínua directa $I = 150\div 500$ A. Antes de soldar o material de adição e eléctrodo cobrem com fundente.

Os eléctrodos fusíveis fabricam-se de arame CBA97, CBAM μ , CBAK5 ou do arame do material a soldar. Utiliza-se a corrente contínua inversa $I = (25\div 30) \cdot D_e$. Como fundente utiliza-se A Φ -4 Φ que contem 28% de NaCl, 50% de KCl, 14% de LiCl e 8% de NaF. Estes mesmos componentes tem o revestimento dos eléctrodos. Chapas com espessura até 3 mm soldam com reviramento dos bordos, de 4÷8 mm sem chanfros e mais de 8 mm com chanfros de 60÷70⁰. A zona de união das chapas com espessura mais de 8 mm aquece-se antes de soldadura até 200÷250⁰.

A soldadura automática pode ser feita sobre fundente AH-A1 que contem 20% de NaCl, 50% de KCl e 30% de criolita. Utiliza-se o eléctrodo de 2÷3 mm do diâmetro, de 25÷40 mm da saliência, corrente continua inversa, $U = 38\div 44$ V, $I = 300\div 450$ A. A velocidade da soldadura – 12÷20 m/h.

Largamente utiliza-se a soldadura MIG de árgon. Utiliza-se a corrente contínua inversa $I = (30\div 45) \cdot D_e$ ou corrente alternada com oscilador e reóstato. Para peças com espessura até 6 mm utilizam-se eléctrodos até 4 mm do diâmetro e para peças mais grossas – até 6 mm. O consumo do gás é de 6÷15 l/min. O comprimento do arco - até 2 mm. No caso da soldadura automática utiliza-se o arame de 2 mm do diâmetro, $I = 250\div 300$ A, a velocidade da soldadura é de 30÷40 m/min.

A soldadura a gás das chapas com espessura até 3 mm faz-se com reviramento do rebordo, com espessura até 5 mm sem chanfros e com folga até 0,5 mm. Nas chapas de 3÷15 mm faz-se chanfro de 60÷70⁰ de um lado e para chapas mais grossas - de dois lados. Não realizam a soldadura das chapas sobrepostas.

Antes de soldadura faz-se desengordamento com hidróxidos e limpeza com escovas metálicas ou faz-se desengordamento, depois ataque com solução aquosa de 5% da soda cáustica, lavagem em água e secagem.

Soldadura do ferro fundido

A soldadura dos ferros fundidos realiza-se principalmente na reparação. No início faz-se abertura dos chanfros e limpeza da zona defeituosa. Para evitar fuga do metal através da fissura do lado inverso ponha-se uma chapa de carvão ou grafita. A seguir faz-se o aquecimento lento total ou só da zona de soldadura até 400÷700 ⁰C.

Como material de adição para soldadura a gás dos ferros fundidos cinzentos com base perlítica e ferrito-perlítica utilizam-se varões de ПЧ-1 e ПЧ-2; para ferros fundidos cinzentos com base ferrítica - ПЧ-3. Para soldadura dos ferros fundidos esferoidais utilizam-se varões ПЧВ. Destes mesmos materiais fabricam-se eléctrodos com

revestimento de 25% de grafita de prata, 30% de feldspato, 40% de SiC, 5% de pó de Al e vidro líquido em 60% da massa dos componentes secos.

Fabricam-se os seguintes eléctrodos $D_e \times L_e$: 4x250, 6x350, 8x450, 10x450, 12x500, 14x600, 16x700. O revestimento de 1,5÷2 mm da espessura contem grafita, FeSi, mármore, minério de Ti e vidro líquido. Para peças com espessura até 20 mm utilizam-se eléctrodos de 6 mm do diâmetro, para espessura de 20÷40 mm – de 8 mm e para peças mais grossa – 10 mm. Utiliza-se corrente $I = (50 \div 60) \cdot D_e$.

Pode-se realizar a soldadura com eléctrodos de carvão com diâmetro de ÷12 mm e corrente contínua directa ou corrente alternada $I = 200 \div 450 \text{ A}$. Neste caso utiliza-se o fundente de 50% de bórax e 50% da soda.

O processo da soldadura realiza-se sem interrupção para manter o banho líquido do metal de adição. No fim faz-se o arrefecimento lento da peça, sua limpeza e controle da qualidade do cordão.

Realiza-se também a soldadura do ferro fundido sem aquecimento prévio. Neste caso utilizam-se os eléctrodos da composição especial:

Tipo do eléctrodo	C	Ni	Si	Cu	Mn	P
Niresist	2,04	28,97	1,31	7,62	0,46	0,038
Nicrosilal	2,17÷2,33	19÷22	5,25÷6,4	-	0,54	-

O revestimento contem 70% do carborundo SiC e 30% do SrCO₃ ou BaCO₃ e 30 % do vidro líquido da mistura seca dos componentes.

Regimes de soldadura recomendados:

Espessura das peças, mm	<20	20÷40	>40
Diâmetro do eléctrodo, mm	6	8	10
Amperagem, A	280÷320	350÷450	450÷550

Largamente utilizam-se os eléctrodos liga de cobre HMЖMЦ-28-2,5-1,5 (monelmetal) com revestimento de 55÷60% de giz e 40÷45% de grafita ou de 45% de grafita, 15% de SiO₂, 20% de argila refractária, 10% de soda e 10% de cinza de madeira. Neste caso utilizam-se os eléctrodos de 3 mm do diâmetro e corrente de 90÷120 A. Depois da soldadura faz-se martelamento do cordão.

Largamente utilizam-se também os eléctrodos de cobre M1 com pó de ferro no revestimento ou com invólucro da chapa do ferro, ou eléctrodos do aço de baixo teor de carbono cobertos com arame de cobre.

Designação	Núcleo	Mármore	Feldspato	Areia de quartzo	FeMn	FeSi	FeTi	Pó de Fe
O3Ч-1	De Cu	27	7	4,5	2,5	2,5	6,5	50
AHЧ-1	CB-04X19H9 com arame de Cu	40	30	17	5	8	-	-

Soldadura faz-se com corrente contínua inversa, $I = (30\div 40) \cdot D_e$

Podem ser usados os eléctrodos de aço de baixo teor de carbono com revestimento de 33% de FeSi, 37% de grafita, 7% de giz e 23% de vidro líquido.

Pode ser realizada a soldadura dos ferros fundidos a gás com varões de adição de ПЧ-1, ПЧ-2, ПЧ-3 e ПЧВ. Neste caso utiliza-se fundente ФСЧ-1 de 23% de bórax calcinado, 27% NaCO₃ e 50% NaSO₄ ou só de bórax calcinado. Há de utilizar a potência específica da chama neutral de 100÷120 l/(h·mm).

Para realizar o arrefecimento lento das peças depois de soldadura pode-se cobri-las com amianto ou com camada de areia.

Escolha dos métodos, materiais e do equipamento para tratamento depois de soldadura

Depois de soldadura com gases a cordão fica bastante limpo mas no caso de uso dos eléctrodos revestidos e fundente é necessário limpar o cordão. A escória que aparece em cima do cordão geralmente parte-se com martelo e limpa-se com escovas metálicas.

Depois de soldar recomenda-se fazer recozimento completo, incompleto ou baixo das peças soldadas responsáveis. Em vez de recozimento para peças de baixo teor de carbono pode ser usada a normalização. O tratamento térmico das peças pequenas e médias faz-se geralmente nos fornos eléctricos. O tratamento térmico das peças grandes pode-se fazer com maçarico. Pode-se diminuir as tensões internas por martelamento do cordão quente.

No fim faz-se o controle da qualidade, usando querosene (para peças de responsabilidade baixa e média), aparelhos ultra-sónicos, de raios X, etc.

Para proteger os cordões da corrosão utiliza-se geralmente pintura com tintas anticorrosivas dos cordões e das zonas próximas aos cordões.

Exemplos da elaboração do processo de soldadura

Para soldar (unir) tubos do aço C15 zincado do diâmetro externo de 100 mm, do comprimento de 6 m e da espessura das paredes de 5 mm na construção dum aguduto de 50 quilómetros fazer o seguinte:

1. Escolher o método de soldadura que serve bem para este fim.
2. Escolher e descrever os tratamentos prévios que há de fazer antes de soldadura, indicando métodos de tratamento, o equipamento e os materiais necessários para isso.
3. Escolher o equipamento e os regimes do próprio processo de soldadura.
4. Escolher e descrever os tratamentos que há de fazer depois de soldadura, indicando métodos de tratamento, o equipamento e os materiais necessários para isso.

1. Pode-se unir tubos dum aguduto, usando seguintes métodos de soldadura:

- Soldadura manual pelo arco voltaico com eléctrodos com revestimento grosso, pois o produto é de responsabilidade elevada. Para ter energia eléctrica pode-se usar o gerador móvel de combustão interna.
- Soldadura manual a gás, pois no campo não há energia eléctrica.

Pode-se tentar usar a soldadura semiautomática MAG, embora já não se recomenda para peças com espessura maior de 4 mm e tubos têm espessura de 5 mm.

Estes métodos de soldadura permitem fazer cordões de qualidade em qualquer posição e servem bem para trabalho no campo. Soldadura a gás não precisa corrente eléctrica. Mas soldadura com por arco voltaico precisa o gerador da corrente eléctrica móvel de combustão interna.

2. Antes de soldar tubos será necessário trabalhar faces, garantindo sua certa planicidade e perpendicularidade aos cilindros. Isso pode ser feito nos tornos ou com discos abrasivos. Neste caso não precisa fazer chanfros pois paredes da peça são finas. Depois disso há de limpar zona próxima ao cordão da sujidade, carepa e dos resíduos do óleo. A limpeza da sujidade e da carepa pode ser feita com escova metálica manual ou escova metálica circular e berbequim, ou disco abrasivo e berbequim. A limpeza dos resíduos de óleo pode ser feita com um dissolvente de óleo, por exemplo, com white spirit, acetona, querosene, terebintina, etc. No caso de uso da soldadura a gás o óleo pode-se eliminar com chama do maçarico. Depois de preparar zonas próximas ao cordão pode aparecer necessidade de encurvar (dobrar) tubos. A seguir será necessário aproximar um tubo a outra, mantendo uma folga cerca de 1 mm. Para manter a disposição certa dos tubos durante o processo da soldadura pode-se usar os apoios com fixadores rápidos de parafuso ou fazendo alguns pingos no cordão.

3a. Equipamento e regimes da soldadura por arco voltaico com eléctrodos revestidos

Pois o aguduto é de responsabilidade elevada do aço de baixa teor de carbono sem liga, a soldadura deve ser realizada com eléctrodos de qualidade do aço Cв 08A,* do diâmetro de 4 mm,* do tipo E 42A,* com revestimento grosso AHO-5 ou AHO-6.*

O posto de trabalho neste caso tem que conter o transformador eléctrico portátil com porta-eléctrodo e gerador móvel da corrente eléctrica de combustão interna. O operário tem que usar máscara com vidros de protecção, luvas, avental, etc.

A amperagem necessária do transformador pode ser determinado pela fórmula $I = (40 \div 50) \cdot D_e$. Daí $I = (40 \div 50) \cdot 4 = 160 \div 200 \text{ A}^*$. Pois há partes do cordão que têm a disposição de teto e próximo a isso tomamos a amperagem menor em 15÷20%.

Então vamos usar: $I = 160 \cdot 0,8 = 130 \text{ A}^*$

A tensão do transformador para acender arco – 60-70 V e depois 18-÷30 V.*

A transferência do material durante soldadura deve ser por corte circuito pois o cordão tem posições diversos (horizontal, vertical, inclinada, do teto). Daí será necessário manter a distância do eléctrodo até peças a soldar cerca de 2÷4 mm ou mesmo pode-se apoiar o eléctrodo pelo revestimento nas peças a soldar o que permite receber o cordão profundo.

A massa de cordões determinamos pela fórmula: $G_c = L_c \cdot F_c \cdot \gamma$.

Para nosso caso temos o comprimento de todos os cordões do aguaduto:

$$L_c = 3,14 \cdot (100 - 2 \cdot 5/3) \cdot 50000/6 \approx 2530727 \text{ mm} = 2531 \text{ m}$$

Área de um cordão (trapézio): $F_c = (2 + 2 \cdot 5 \cdot \text{tg}30)/2 \cdot 5 = 19,4 \text{ mm}^2 = 1,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

Daí a massa de cordões: $G_c = 2531 \cdot 1,94 \cdot 10^{-5} \cdot 7800 \approx 383 \text{ kg}$

A área de uma camada do cordão: $F_{1c} = (6 \div 12) \cdot 4 = 24 \div 48 \text{ mm}^2$

O número das camadas do cordão: $N_c = 19,4/24 = 0,81$. Tomamos $N_c = 1$

A massa necessária dos eléctrodos determinamos pela fórmula:

$$G_e = G_c \cdot C_{mec} \cdot (1 + C_{pme} + C_{mr}) \quad G_e = 383 \cdot 0,5 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \approx 326 \text{ kg} \quad ***$$

O tempo de soldadura própria determinamos pela fórmula: $t_{ca} = 10^3 \cdot G_c / (C_{se} \cdot I)$,

Para eléctrodos com revestimento AHO-6 temos: $C_{se} = 8,5 \text{ g}/(\text{A} \cdot \text{h})$, daí

$$t_{ca} = 10^3 \cdot 383 / (8,5 \cdot 130) \approx 346,6 \text{ h} \quad **$$

A velocidade de soldadura determinamos pela fórmula: $V_s = C_{se} \cdot I / (\gamma \cdot F_c)$

$$V_s = 8,5 \cdot 130 / (7,8 \cdot 0,194) \approx 730 \text{ cm/h} = 7,3 \text{ m/h} \quad **$$

3b. Equipamento e regimes de soldadura a gás

O posto de trabalho neste caso contem dois balões, com acetileno e oxigénio sob pressão, carinho, maçarico de soldadura com jogo de bocais, mangueira com diâmetro interno de 9 mm para fornecimento dos gases para maçarico. Operário tem que usar óculos com vidros de protecção, luvas, avental, etc.

Para soldadura dos aços utilizamos a chama normal com relação dos caudais $Q_O/Q_A = 1,2$. Pois a espessura das paredes da peça é bastante fina, utilizamos a potência específica da chama $P_{ch} = 100 \text{ l}/(\text{h} \cdot \text{mm})$. O consumo do acetileno determinamos pela fórmula: $Q_A = P_{ch} \cdot E$. Daí o consumo do acetileno será: $Q_A = 100 \cdot 5 = 500 \text{ l/h}$
O consumo do oxigénio: $Q_O = 1,2 \cdot 500 = 600 \text{ l/h}$.

Para espessura do tubo de 5 mm escolhemos o ângulo de inclinação da chama - 30° .

Pois o cordão é circular, tem diferente disposição do cordão, utilizamos o método esquerdo do deslocamento de baixo para cima. Pois a espessura da peça é menor de 6÷8 mm fazemos o cordão por uma camada $N_c = 1$, por cordões curtos em diferentes zonas das peças.

Pois o material a soldar é de baixo teor de carbono, como material de adição utilizamos o arame do aço Cв-08ГA. O diâmetro do arame para soldadura esquerda determinamos pela fórmula $D_a = E/2 + 1$. Daí - $D_a = 5/2 + 1 = 3,5$ mm. Tomamos o diâmetro normalizado do arame $D_a = 4$ mm.

A massa de cordões determina-se de mesma maneira como antes e fica $G_c = 383$ kg.

A massa necessária do arame determinamos pela fórmula: $G_e = G_c \cdot C_{mec} \cdot (1 + C_{pme} + C_{mr})$

$$G_e = 383 \cdot 0,5 \cdot (1 + 0,3 + 0) \approx 249 \text{ kg}$$

A velocidade aproximada de soldadura do diagrama na página 93 $\rightarrow V_s = 4$ m/h.

Daí o tempo da soldadura do aguaduto $t_s = N_c \cdot L_c / V_s$ $t_s = 1 \cdot 2531 / 4 = 633$ h

O volume necessário do acetileno $V_A = Q_A \cdot t_s$ $V_A = 500 \cdot 633 = 316375$ l

O volume necessário do oxigénio $V_O = Q_O \cdot t_s$ $V_O = 600 \cdot 633 = 379650$ l

3c. Equipamento e regimes de soldadura MAG

O equipamento necessário: aparelho móvel para soldadura MAG com pistola (tocha), balão de CO₂ e gerador móvel da corrente de combustão interna. O operário tem que usar máscara com vidros de protecção, luvas, avental, etc.

Da página 85 escolhemos regimes necessários para o caso mais próximo ao dado que fica já fora das recomendações:

- Diâmetro do eléctrodo - $D_e = 2$ mm.
- Amperagem da corrente eléctrica tabelada - $I = 200$ A. Pois há zonas do cordão inclinadas e do teto, utilizamos $I = 200 \cdot 0,8 = 160$ A. Utilizamos a corrente contínua inversa.
- Tensão da corrente eléctrica - $U = 24$ V.
- Velocidade da soldadura - $V_s = 18$ m/h.
- Consumo do CO₂ - $Q_{CO_2} = 14$ l/min = 840 l/h.

Pois o cordão tem diferente disposição no espaço utilizamos o método de transferência do metal por curto-circuito, mantendo a distância do eléctrodo até peça de $1 \div 2$ mm.

A área duma camada do cordão $F_{1C} = (6 \div 12) \cdot 2 = 12 \div 24$ mm²

Os parâmetros do cordão (L_c , F_c , G_c) serão mesmos como nos outros casos.

O número das camadas $N_c = 19,4 / 24 = 0,81$ Tomamos $N_c = 1$

A massa necessária do arame será parecida a massa no caso de soldadura a gás, $G_a = 249$ kg.

O tempo da soldadura será: $t_s = N_c \cdot L_c / V_s$ $t_s = 1 \cdot 2531 / 18 = 140,6$ h

O volume necessário do CO₂: $V_{CO_2} = Q_{CO_2} \cdot t_s$ $V_{CO_2} = 840 \cdot 140,6 = 118113$ l

4. Depois de soldar um cordão será necessário:

- Para soldadura com eléctrodo revestido há de tirar a escória a volta do cordão com martelo. No caso de uso da soldadura a gás e MAG o cordão não tem escoria por isso este tratamento é desnecessário.
- Martelar o cordão quando ele ainda está quente para diminuir as tensões internas. Depois de soldadura a gás pode-se aquecer o cordão com maçarico e cobrir com amianto para diminuir as tensões internas.
- Limpar o cordão com escova metálica;
- Controlar a qualidade do cordão com aparelho ultra-sónico;
- Depois de arrefecimento, pintar o cordão duas vezes com tinta anticorrosiva para protege-lo da corrosão.