

01340

航空材料手册

热 强 钢 及 合 金

内部资料 不得外传



1967. 8. 北 京

USS 100
247

航空材料手册

热强钢及合金



冶金工业部钢铁研究院

最 高 指 示

一切国家的好经验我们都要学，不管是社会主义国家的，还是资本主义国家的，这一点是肯定的。学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

目 录

前言	1
钢和合金的机械性能和物理性能的代	
表符号	2

第一章 热 强 钢

一、热强变形钢	3
表1. 铬钢 1X17H2 (ЭИ268)	3
表2. 铬钢 13X14HВФРА (ЭИ736)	9
表3. 铬钢 1X12H2ВМФ (ЭИ961)	16
表4. 铬钢 10X12HВМФА (ЭИ962)	22
表5. 铬钢 1X12HВМФА (ЭИ962А)	26
表6. 铬钢 23X13HВМФА (棒材, 锻件) (ЭП65)	27
表7. 铬钢 (板材) 23X13HВМФА (ЭП65)	32
表8. 铬钢 ЭП311 (ВНС-6)	34
表9. 铬镍钼钢 ЭП310 (ВНС-5)	38
表10. 铬镍钨钢 4X14H14B2M (ЭИ69)	42
表11. 铬镍钢 X14H14CB2M (ЭИ240)	47
表12. 铬镍钼钢 ЭИ395 (16-25-6)	48
表13. 铬锰镍钢 4X15H7Г7Ф2МС (ЭИ388)	53
表14. 铬镍锰钢 4X12H8Г8МФБ (ЭИ481)	59
表15. 铬锰镍钢 ЭИ734	66
表16. 铬镍钢 X12H20T3P (ЭИ696)	69
表17. 铬镍钢 X12H22T3MP (ЭП33, ЭИ696М)	77
表18. 铬镍钢 (棒材, 锻件) ЭИ696А	88
表19. 铬镍钢 (板材) ЭИ696А	91

表20. 铬镍钢 ХН35ВТЮ (ЭИ787)	97
表21. 铬镍钢 ЭП105 (ЭП203)	104
表22. 铬镍钨钢 Х15Н30ВМТ (ЭП437, ВЖ102)	108
二、热强铸造钢	113
表23. 铬镍钢268Л (ЭИ268Л)	113
表24. 铬镍钢513Л (ЭИ736Л)	116
表25. 铬镍钢 ЭИ961Л	120
表26. 铬镍钢 ВЖЛ10	122
表27. 铬镍钢 ЭИ696МЛ	126

第二章 热强合金

一、热稳定(抗氧化)变形合金	128
表28. 镍基合金 ХН78Т (Х20Н80Т, ЭИ435)	128
表29. 镍基合金 ХН75МБТЮ (ЭИ602)	135
表30. 镍基合金 ХН70Ю (ЭИ652)	142
表31. 镍基合金 ХН60В (ЭИ868, ВЖ98)	145
二、热强变形合金	151
表32. 镍基合金 ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	151
表33. 镍基合金 ЭИ437БУ	158
表34. 镍基合金 ХН77ТЮ (ЭИ437А)	164
表35. 镍基合金 ХН70МВТЮБ (ЭИ598)	168
表36. 镍基合金 ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	173
表37. 镍基合金 ЭИ766	181
表38. 镍基合金 ХН73МБТЮ (ЭИ698)	184
表39. 镍基合金 ЭИ826	188
表40. 镍基合金 ЭИ867	193
表41. 镍基合金 ЭП109 (ЭИ867А)	201
表42. 镍基合金 ЭП238	208
表43. 镍基合金 ЭИ929	213
表44. 镍基合金 ЭП57	221

表45. 镍基合金 ЭП220	226
表46. 镍基合金 ЖС6-КП	232
表47. 镍基合金 ЭИ894	237
表48. 镍基合金 ЭП99	246
表49. 镍基合金 ЭП199 (ВЖ101)	255
三、热强铸造合金	258
表50. 铁基合金 ВЛ7-20	258
表51. 铬镍合金 ХНВЛ (ВЛ7-45У)	261
表52. 镍基合金 ЖС6	263
表53. 镍基合金 ЖС6-К	268
表54. 镍基合金 ЖС6-КП	273
表55. 镍基合金 ЖС3 (ЭИ618)	277
表56. 镍基合金 ЖС3-Д 和 ЖС3-ДК	280
表57. 镍基合金 АНВ-300	289
表58. 镍基合金 ЭИ857 (Л-114)	292
表59. 镍基合金 ВЖ36-Л1	294
表60. 镍基合金 ВЖ36-Л2	299
表61. 铁铬镍基合金 ВЖ36-Л3	303
表62. 镍基合金 ВЖЛ8	307
表63. 钴基合金 ЛК4	309
四、阀门用堆焊合金	311
表64. 司太立特合金 ВХН1	311
表65. 司太立特合金 В2Ж	312
表66. 司太立特合金 В3К	313

前 言

毛主席教导我们：“我们是主张自力更生的。我们希望有外援，但是我们不能依赖它，我们依靠自己的努力，依靠全体军民的创造力。”

为了满足设计、研究、生产和使用的需要，特将苏联1965年有关航空材料的资料编译出来，供有关单位参考使用。在编译过程中，我们只取用了热强钢及合金部分，有关不锈钢耐蚀钢和高熔点金属合金部分没有纳入本手册。本手册中列有各种热强钢及合金的成分、性能、用途、工艺参数和图表。

由于水平所限，错误之处一定不少，希望读者指正。

本手册仅供内部参考使用，请勿外传。

编译者 1967. 8.

钢和合金的机械性能和物理性能的代表符号

性 能 名 称	符 号	度 量 单 位
用静力方法测定的拉伸法向弹性模数	E	公斤/毫米 ²
用动力方法测定的法向弹性模数	E _n	公斤/毫米 ²
切向弹性模数 (剪切模数)	G	公斤/毫米 ²
拉伸比例极限	$\sigma_{\pi n}$	公斤/毫米 ²
拉伸条件屈服极限 (残余变形0.2%)	$\sigma_{0.2}$	公斤/毫米 ²
抗拉强度极限	σ_b	公斤/毫米 ²
缺口试样的抗拉强度极限	σ_b^H	公斤/毫米 ²
光滑试样对称循环弯曲时的疲劳极限	σ_{-1}	公斤/毫米 ²
缺口试样对称循环弯曲时的疲劳极限	σ_{-1}^H	公斤/毫米 ²
高温蠕变极限 (在100、200小时内引起0.2%变形的应力)	$\sigma_{0.2/100}$ $\sigma_{0.2/200}$	公斤/毫米 ² 公斤/毫米 ²
高温持久强度极限 (在一定时间内, 如50、100等小时内导致试样断裂的应力)	σ_{50} σ_{100}	公斤/毫米 ² 公斤/毫米 ²
断裂后的延伸率: 长度 $l=5d$, $l=10d$, $l=5.65\sqrt{F}$, $l=11.3\sqrt{F}$	$\delta_5; \delta_{10}$ $\delta_{5.65\sqrt{F}}$ $\delta_{11.3\sqrt{F}}$	% %
断裂后的收缩率	φ	%
静力疲劳试验时试样断裂前的循环次数	N	循环
弯曲时的单位冲击韧性 (试样尺寸为: $10 \times 10 \times 55$ 毫米、半圆缺口的深度2毫米、半径1毫米)	a_K	公斤·米/厘米 ²
布氏硬度 (钢球直径 $d=10$ 毫米, 载荷 P 为3000公斤) 或压痕直径	H _B d	公斤/毫米 ² 毫米
洛氏硬度 (金钢石锥顶角为136°, 载荷为150公斤压入时测得)	R _C	—
比重	d	克/厘米 ³
线膨胀温度系数	α	1/°C
导热系数	λ	卡/厘米·秒·°C
比热	C	卡/克·°C
电阻系数	ρ	欧姆·毫米 ² /米

第一章 热 强 钢

一、热强变形鋼

表 1

鉻 鋼					1X17H2(ЭИ268)		
化学成份, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
不 大 于							
0.11—0.17	≤0.8	≤0.8	16—18	1.5—2.5	余	0.025	0.030
技术条件规定的机械性能 (不小于)							
半成品 种 类	技 术 条 件	材 料 状 态 (检验试样)	試驗溫度 °C	σ_b 公斤/ 毫米 ²	δ_5 %	σ_k 公斤·米 /厘米 ²	
棒 材	МНТУ 2362-49	热处理制度: 淬火—950—1040°C油冷; 回火—275—350°C空冷	20	110	10	5	
薄 板	ЧМТУ 3126-52	热处理制度: 淬火—950—975°C油冷; 回火—275—350°C空冷	20	110	10	—	

室温及高温机械性能

半成品种类	材料状态	试验温度 °C	E	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ^*	ψ	a_z	H_s
			公斤/毫米 ²			%		公斤·米/厘米 ²	(d毫米)
棒材	热处理制度: 淬火—1030°C 油冷; 回火—520±10°C	20	19700	120	90	12	62	4	3.15—3.4
		300	16700	112	84	10	52	—	—
		450	16200	92	73	13.5	53	—	—
		500	15100	75	67	18	64	—	—
		550	—	57	44	20	67	—	—
		600	13600	38	—	31	87	—	—
棒材	淬火—1030°C 油冷; 回火—680°C ±10°C	20	—	96	77	17	59	8	3.5—3.8
		300	—	87	70	14	53	—	—
		400	—	80	65	13	57	—	—
		500	—	65	55	18	66	—	—
		600	—	36	36	29	88	—	—
	680±10°C退火	20	—	80	60	22	61	8	>3.5
		300	—	68	44	17	56	—	—
		450	—	64	43	17	52	—	—
	680±10°C退火	20	19900	70	46	15	—	—	—
		300	17000	58	36	12	—	—	—
		450	16900	50	30	9	—	—	—

• 测定延伸率时,棒材试样的计算长度 $l=5d$, 扁平试样的计算长度 $l=5.65\sqrt{F}$ 。

秒强度和秒蠕变极限

半成品 种 类	材 料 状 态	試驗 溫度 °C	σ_{100}	σ_{600}	σ_{1200}	σ_{1800}	σ_{3000}	$\sigma_{0.5/100}$	$\sigma_{0.5/600}$	$\sigma_{0.5/1200}$
			公斤/毫米 ²							
棒材	供料状态: ($\sigma_b^{20}=98$ 公斤/毫米 ²)	500	69	—	—	—	68	—	65.5	63.8
		600	50	45	42	40.5	38	41.4	35.8	32.4
		700	28	21.5	19	18	16.5	18	14.5	12
		800	15	13.5	12	11	10	—	—	—
	热处理制度: 淬火—1050°C油冷; 回火—550°C ($\sigma_b^{20}=120$ 公斤/毫米 ²)	550	62.5	57.5	55	54	52.5	—	—	—
	600	50	44.5	41	39	37	—	—	—	
	700	28	21	19	17.5	16	—	—	—	
半成品 种 类	材 料 状 态	試驗 溫度 °C	$\sigma_{0.5/100}$	$\sigma_{0.5/3000}$	$\sigma_{1/100}$	$\sigma_{1/600}$	$\sigma_{1/1200}$	$\sigma_{1/1800}$	$\sigma_{1/3000}$	
			公斤/毫米 ²							
棒材	供料状态: ($\sigma_b^{20}=98$ 公斤/毫米 ²)	500	—	—	—	67.5	66.4	65	62.5	
		600	30.4	28	42.4	38	35.2	33.5	31.4	
		700	10.4	8.5	—	17	14.7	13.5	10.5	
		800	—	—	—	—	—	—	—	
	热处理制度: 淬火—1050°C油冷; 回火—550°C ($\sigma_b^{20}=120$ 公斤/毫米 ²)	550	—	—	—	—	—	—	—	
	600	—	—	—	—	—	—	—		
	700	—	—	—	—	—	—	—		

持久强度、蠕变和疲劳极限*

半成品种类	状态	试验温度 °C	σ_{-1}					循环基数					σ_{-1}^{**}
			σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{2000}	$\sigma_{0.2/100}$						
								10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	2·10 ⁸	
公斤/毫米 ²													
棒材	热处理制度:	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
	1) 淬火—1030°C油冷;	400	67—74	65—71	64—69	62—67	43—45	51	48	45—46	43—44	42—43	—
	520°C回火。	450	60	—	—	—	28	—	—	—	—	—	—
棒材	2) 淬火—1030°C油冷;	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29
	680°C回火	300	—	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—
		400	58—65	51—57	47—53	45—49	45	—	—	—	—	—	—
		500	—	—	—	—	9	—	—	—	—	—	—
板材	680°C退火	300	—	—	—	—	35	—	—	—	—	—	—
		400	—	—	—	—	32	—	—	—	—	—	—
		500	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—

* 第一个数字——最低指标; 第二个数字——钢的持久强度和蠕变强度的平均指标。

** 缺口半径为0.75毫米。

抗 氧 化 性

在 800°C 以下的空气介质中钢具有稳定的抗氧化性。

物 理 性 能

$d = 7.75$ 克/厘米³。

$\alpha \cdot 10^6 = 10.4(20-100^\circ\text{C})$; $11.1(100-200^\circ\text{C})$; $11.5(200-300^\circ\text{C})$; $12.1(300-400^\circ\text{C})$; $12.7(400-500^\circ\text{C})1/^\circ\text{C}$ 。

$\alpha \cdot 10^6 = 10.8(20-200^\circ\text{C})$; $11.0(20-300^\circ\text{C})$; $11.3(20-400^\circ\text{C})$; $11.6(20-500^\circ\text{C})1/^\circ\text{C}$ 。

$\lambda = 0.050(20^\circ\text{C})$; $0.052(100^\circ\text{C})$; $0.054(200^\circ\text{C})$; $0.056(300^\circ\text{C})$; $0.058(400^\circ\text{C})$; $0.060(500^\circ\text{C})$; $0.062(600^\circ\text{C})$; $0.064(700^\circ\text{C})$; $0.067(800^\circ\text{C})$; $0.071(900^\circ\text{C})$ 卡/厘米·秒·°C。

$\rho = 0.73(20^\circ\text{C})$ 欧姆·毫米²/米。

$C = 0.115(20-100^\circ\text{C})$ 卡/克·°C。

钢具有磁性。

工 艺 参 数

此钢在热态和冷态都可变形，变形温度范围为 1180—850°C，变形后缓慢冷却。断面小于 150 毫米的坯料空冷，冷压力加工的特征数据列于表内。

拉 拔		卷 边	冲 压			
			平 板		球 面	
K_{np}	K_{pa6}	K_{np}	K_{np}	K_{pa6}	K_{np}	K_{pa6}
1.96—2.02	(0.85—0.9) K_{np}	1.46—1.74	0.27	0.27	0.45	0.32

深拉过程中，当采用极限拉伸系数 K_{np} 时，材料的压缩为 10—12%，当采用工作拉伸系数 K_{pa6} 时为 8%。

在使用工厂零件的热处理制度建议采用：

1) 淬火—1000—1040°C 油冷或空冷；230—370°C 回火 ($H_B =$

355—400 公斤/毫米²);

2) 淬火—980—1040°C油冷或空冷; 540—650°C回火, 至所需硬度 ($H_B = 340-230$ 公斤/毫米²)。

为了提高零件的表面硬度和抗磨损性, 零件按工艺规程 ВИАМ № 778—60进行渗碳处理。

渗碳制度列于下表:

渗 碳 制 度			渗 碳 层 厚 度, 毫米		研 磨 余 量 毫米
温 度 °C	时 间 小时	每10公升容 积的炉体内 渗碳剂消耗 量, 滴/分	一 般 区 域	作 用 区 域	
1000	3	18±2	0.60—0.70	0.2	0.05
950	8	25±2	0.70—0.80	0.30—0.50	0.20
1000	2	30±2	0.70—0.80	0.30—0.50	0.05
1000	3	25±2	0.70—0.80	0.30—0.50	0.10
1050	2	18±2	0.70—0.80	0.30—0.50	0.05
950	15	18±2	0.90—1.10	0.40—0.50	0.10
1000	5	18±2	0.90—1.10	0.40—0.50	0.10
1000	7	10±2	0.90—1.10	0.40—0.50	0.20
950	15	25±2	1.20—1.30	0.60—0.70	0.20
950	30	10±2	1.20—1.30	0.60—0.70	0.20
1000	7	18±2	1.20—1.30	0.60—0.70	0.20

表中所引的渗碳制度及所指的表面磨损量, 保证表面层在燃气和水中具有抗腐蚀性。渗碳层的硬度为 $R_c > 58$, 渗碳深度为 0.60—1.30 毫米。

在大气、燃气以及浸蚀性介质中, 采取专门保护条件时钢具有高的抗腐蚀稳定性。用抛光, 表面钝化或电抛光的方法可使钢在大气中具有高的抗腐蚀稳定性。焊接部位必须涂漆。

钢用各种焊接法焊接的效果良好。用 ЭИ400合金作为焊条。焊接之后, 零件需进行热处理, 必要时进行矫正。

用 途

用于在湿介质中工作的零件，工作温度低于 400°C。

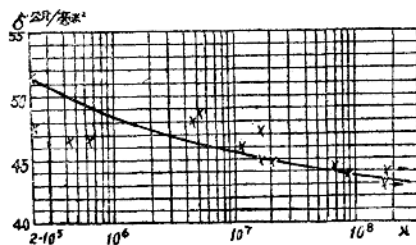


图 1 1X17H2 钢在 400°C 时的疲劳曲线 (530°C 回火，
纯弯曲试验)

表 2

钢			13X14HBΦPA(ЭИ736)								
化 学 成 份, %											
C	Si	Mn	Cr	Ni	V	W	Ti	Fe	B (計算)	S	P
										不大于	
0.10/ 0.16	≤0.6	≤0.6	13/15	2.8/ 3.4	0.18/ 0.28	1.6/ 2.2	≤0.05	余	≤0.004	0.030	0.030
技术条件规定的机械性能 (不小于)											
半成 品种 类	技 术 条 件	材 料 状 态 (檢驗試样)	試驗 溫度 °C	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	a_k	H_b		
				公斤/ 毫米 ²		%	公斤·米 /厘米 ²	(d, 毫米)			
棒材	ЧМТV 5067—57	热处理制度: 淬火—1050±10°C 油冷或空冷;550— 580°C回火,空冷;	20	115	90	12	50	7	3.4—3.1		
		或 600—680°C 回 火, 空冷	20	95	75	14	55	9	3.6—3.3		

室温和高温机械性能

材料状态	試驗溫度 °C	E	σ_b	$\sigma_{0.2}$	σ_{nn}	δ_5	δ_{10}	ψ	a_k	H_n
			公斤/毫米 ²			%			公斤·米/厘米 ²	(d 毫米)
热处理制度:	20	20000	110—130	85—105	64	10—16	7	50—65	7—15	3.4—3.10
1) 淬火—1050°C 油冷;	400	—	85—100	75—85	—	10—16	—	55—65	8—15	—
550—580°C 回火, 空冷	500	15300	75—90	60—70	29	10—16	7	50—60	8—15	—
	550	14000	65—70	45—50	20	10—16	10	50—65	10—15	—
2) 淬火—1050°C 油冷;	20	—	95—105	73—80	43	14—18	9	50—65	9—16	3.3—3.6
650—680°C 回火, 空冷	400	—	78—85	65—75	42	12—18	7	53—63	—	—
	500	—	60—70	45—55	28	15—20	10	60—75	—	—
3) 淬火—1050°C 油冷;	20	—	140	90	—	15	—	60	10	—
300°C 回火	300	—	140	85	—	14	—	48	—	—

低温机械性能*

半成品种类	状态	試驗溫度 °C	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	a_k	σ_b^*
			公斤/毫米 ²		%		公斤·米/厘米 ²	公斤/毫米 ²
直径60毫米棒材	热处理制度: 淬火—1050°C 油冷;	-70	126	112	14	44	3	169
	580°C 回火, 空冷	-196	156	130	7	10	0.8	118

* 试样直径为5毫米

持久强度、蠕变和疲劳极限

材料状态	試驗溫度, °C	σ_{100}	σ_{500}	σ_{1000}	σ_{2000}	$\sigma_{0.2/100}$	
		公斤/毫米 ²				总变形	残余变形
热处理制度:	20	—	—	—	—	—	—
	300	90	—	—	—	32	76
1) 淬火—1050°C 油冷;	400	71—77	69—73	68—72	67—70	28	54
550—580°C 回火, 空冷	450	70	—	—	—	—	38
	500	40—44	33—37	31—33	29—31	18	24—27
	550	30	—	—	—	12	18
2) 淬火—1050°C 油冷;	500	33—37	27—31	25—28	23—26	—	—
650—680°C 回火, 空冷							

续表

材料状态	試驗 溫度 °C	$\sigma_{0.2/500}$	$\sigma_{0.2/1000}$	$\sigma_{0.2/2000}$	σ_{-1} 循环基数				σ_{-1}^{**}
		残余变形			10^6	10^7	10^8	2×10^8	10^7
		公斤/毫米 ²							
热处理制度:	20	—	—	—	—	56	—	—	35
1) 淬火—1050°C	300	—	—	—	—	—	—	—	—
油冷; 550—580	400	48	46	44	—	51	—	—	32
°C回火, 空冷	450	—	—	—	—	—	—	—	—
	500	17—19	15—16	13—14	54—55	43—49	40—44	42.5	30
2) 淬火—1050°C									
油冷; 650—680	500	—	—	—	—	—	—	—	—
°C回火, 空冷									

• 第一个数——为钢的持久强度和蠕变强度的最低指标, 第二个数——为平均指标;

• • 缺口半径为0.75毫米。

秒强度极限

半成品 种类	状 态	試驗 溫度 °C	σ_{10s} σ_{60s} σ_{120s} σ_{180s} σ_{300s}				
			公斤/毫米 ²				
棒材	热处理制度:	600	54.5	51	48	47.5	47
	淬火—1050°C油冷; 570°C	650	42.5	37.5	33	30	29.5
	回火	700	37.5	32	28.5	28	27.5
	$(\sigma_b^{20} = 120 \text{ 公斤/毫米}^2)$						

电渣重熔和非真空熔炼金属机械性能比较*(20°C)

冶 炼 方 法	纵 向					横 向					σ_{-1} 公斤/ 毫米 ²
	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	a_k	σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	ψ	a_k	
	公斤/ 毫米 ²	公斤/ 毫米 ²	%		公斤·米/ 厘米	公斤/ 毫米 ²	公斤/ 毫米 ²	%		公斤·米/ 厘米	
电渣重熔	100 108	86 95	14 17	51 62	10—15	100 107	81 95	12 16	50 57	7—13	60—62
非 真 空 熔 炼	95 105	75 95	14 17	50 60	9—15	90 106	88 95	10 14	30 50	6—9	55—58

• 1050°C油冷淬火后650—680°C回火