

资本主义国家的 黑色冶金

新鋼种和試驗方法

冶金工业出版社

苏联黑色冶金部技术管理局

中央情报研究院

资本主义国家的黑色冶金

第 5 卷

新钢种和试验方法

A.M. 包尔兹迪卡 Э.И. 维特基娜

A.П. 雷尔尼科夫 K.K. 西尼岑

著

孙一唐 译

冶金工业出版社

12879

А. М. Борздыка, Э. И. Виткина, А. П. Рыльников, К. К. Синицын
 ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАН
 Часть 5 Стали новых марок и методы испытаний

Металлургиздат (Москва, 1957)

资本主义国家的黑色冶金

第 5 卷 新鋼种和試驗方法

孙一唐 譯

冶金工业出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲 45 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

—— * ——
 1960 年 4 月 第一版

1960 年 4 月 北京第一次印刷

印数 平 3015
 精 515 册

开本 787 × 1092 • 1/25 • 220000 字 • 印张 11 $\frac{3}{25}$ •

—— * ——
 統一書号 15062 · 2125 定价 平 1.20 元
 精 1.60 元

苏联黑色冶金部中央情报研究院于1954—1955年所完成的“资本主义国家的黑色冶金”一书由八卷组成：

第1卷——资本主义国家黑色冶金技术经济概论（美国、英国、法国、西德、比利时、卢森堡、奥地利、意大利、瑞典、挪威、印度、日本、澳大利亚、加拿大，以及6个拉丁美洲国家）。

第2卷——冶炼前的矿石准备及高炉生产。

第3卷——炼钢生产。

第4卷——轧钢生产。

第5卷——新钢种及试验方法。

第6卷——焦化生产。

第7卷——铁矿工业。

第8卷——耐火材料生产。

本书重点放在技术问题上，阐明前些年和近几年来在工艺过程及机组结构方面所发生的最重大的变化。

內容簡介

本書是根据苏联冶金工业出版社 1957 年出版的 中央情报研究院編的一整套“資本主义国家黑色冶金”(Черная металлургия капиталистических стран) 中的第 5 卷譯出。

書中闡述了美国、英国及西德在战后时期所用的新鋼种合金鋼，金屬的机械試驗方法、金相試驗方法以及放射性同位素在冶金过程研究中的适用。書中还載有各种鋼的化学成分及机械性能的附表。

本書可供鋼鐵工厂工程技術人員以及科学研究人员閱讀，亦可供高等学校和中等技术学校学生的参考。

目 录

外国在战后时期所用的某些新鋼种和合金.....	7
1. 热强合金.....	7
2. 不銹鋼.....	20
3. 高速鋼和模具鋼.....	37
4. 結構鋼.....	41
5. 易切削鋼.....	54
参考文献.....	57
附录.....	59
金屬机械試驗的方法.....	123
A. 在正常溫度下的試驗.....	123
1. 拉力試驗和压缩試驗.....	123
2. 万能机械試驗机.....	133
3. 疲劳試驗.....	138
4. 硬度的測定.....	144
5. 磨損試驗.....	156
6. 金屬的工艺試驗.....	159
B. 高溫試驗.....	167
1. 拉力試驗.....	167
2. 蠕变試驗和松弛試驗.....	169
3. 持久强度試驗.....	179
4. 持久塑性和缺口敏感性的測定.....	188
5. 弯曲試驗.....	197
6. 扭轉試驗.....	198
7. 压缩試驗.....	200
8. 在复杂受力状态下的試驗.....	203
9. 在內压力下的試驗.....	204
10. 疲劳試驗.....	205
11. 硬度的測定.....	211
参考文献.....	216

金屬的金相試驗法.....	218
1. 試樣的准备.....	218
2. 利用各种系統的显微镜对組織的研究.....	230
3. 偏振光的应用.....	244
4. 断口观测法.....	248
5. 金屬显微硬度的測定.....	250
参考文献.....	255
放射性同位素在研究冶金过程中的应用.....	256
1. 对于硫从煤轉入焦炭的条件研究.....	258
2. 气体在高爐中停留時間的測定.....	258
3. 高爐在运行过程中爐衬燒蝕的測定.....	260
4. 碱性渣和液体金屬之間的反应.....	261
5. 在冶炼进程中鋼的化学成分的測定.....	262
6. 对硫从气体轉入金屬的研究.....	263
7. 脫磷反应的性質的測定.....	264
8. 鉄的自扩散速度的測定.....	265
9. 金屬中氧含量的測定.....	266
10. 磷、砷和硫在鋼錠中的分布.....	266
11. 在軋制过程中金屬厚度的測量.....	269
12. 鋼和合金耐磨性的研究.....	271
13. γ -探伤法.....	272
参考文献.....	277

外国在战后时期所用的

某些新鋼种和合金

工程师 Э.И. 維特基娜

最近十年，美国、英国、西德和其他一些资本主义国家由于缺乏某些合金元素（镍、钴、钼等等），并且由于航空、造船和其他许多工业部門要求的提高，在生产中曾創制并运用了某些新的热强鋼、不銹鋼、工具鋼和机器制造用鋼。

将这些新鋼种的化学成分与过去采用的鋼作一对比，可以得出这样的結論，即稀缺合金元素的含量趋于减低。

1. 热强合金

美 国

战后时期，下列六組热强合金在美国获得了广泛的应用：

- 1) 加有各种元素的鉄鎢镍基热强合金；
- 2) 含钴 40% 以下的热强合金；
- 3) 含钴 40% 以上的司太立特合金；
- 4) 含钴 40% 以上的复杂司太立特合金；
- 5) 镍基合金；
- 6) 鎢钼基合金。

关于上述六組合金的化学成分的数据見附录 I [1~4]。

第一組合金經过半热硬化 ($650\sim 750^{\circ}$) 后具有很高的机械性能。例如，镍和钼含量高的提姆根 16—25—6 合金（附录 I）用于制造燃气輪和噴气式发动机的工作輪 [1~3]。

第二組合金除钴（含钴在 34% 以下）以外，还含 15~42%Ni, 15~26%Cr, 2.7~10.0%Mo, 2.0~5.0%W 以及鉍；某些合金的成分中还含有氮（N—156 号合金）。K—42—B 合金不含钼、錳和鉍，但含鈦和鋁。

第三組合金是含鈷在 40% 以上的司太立特合金，一般用于制造鑄件，其中包括用精密鑄造法制造的零件。

第四組合金——含鈷在 40% 以上，含鈮、鎢、鉭高的复杂司太立特合金，用于制造以精密鑄造法制造的燃气輪机的导向动叶片。

第五組含鎳約 78% 和含鉻約 22% 的鎳基合金用于制造燃烧室和其它零件。属于这一組合金的哈斯捷洛依 (Хастеллой) В 不含鉻，而含有大量的鉬 (約 30%)，可用于制造燃气輪机和噴气式发动机工作輪的叶片以及导向叶片。

因科鎳合金 X (1%Nb, 2.3%Ti 和 0.7%Al) 主要用于制造燃烧室。

第六組合金 (鉻鉬基合金) 目前尚未获得广泛的运用。

上述六組合金中某些合金在高溫下的机械性能列于附录 I、II、IV 中；物理性能則列于附录 V 中 [4]。

1952 年，美国曾創制出一些合金元素的含量比过去的合金低的新合金。

这些合金中的第一种合金——含鈦的鉻鎳合金 (35%Ni, 20%Cr, 1%Ti, 42%Fe) 可用于制造抗扭和抗裂的零件，例如在溫度变动頻繁 (从 650° 至 980°) 的条件下工作的燃烧室零件。

第二种合金——鉻鎳鈷合金 (30%Ni, 25%Cr, 20%Co, 6%W, 4%Mo, 1.5%Mn, 0.3%Cu, 0.2%N) 用于制造在溫度达 870° 的条件下工作的渦輪导向叶片；这种合金是在載荷 14 公斤/毫米² 和溫度 815° 时持久强度为 130 小时的鈷基合金的代用品。

第三种合金——含鈦、鉬和鋁的鉻鎳合金——A-286 (26%Ni, 15%Cr, 0.05%C, 2%Ti, 0.2%Al, 1%Mo, 0.3%V, 其余是鉄) 用于制造在沒有冷却的条件下工作的渦輪盘，这些渦輪盘应当具有高的塑性并且对应力的集中不灵敏。这种合金属于彌散硬化合金；从 980° 水冷淬火并在 720° 时效 16 小时后，合金在 700° 和 815° 試驗 100 小时的持久强度极限分別为 30.5 和 8 公斤/毫米²，而在同样的溫度試驗 1000 小时的持久强度极限分別为 21 和 6 公斤/毫米²。

第四种鎳基合金——瓦斯帕洛依合金 (Уаспаллой) (0.07%C,

19.5%Cr, 2.5%Ti, 13.5%Co, 1.2%Al, 3%Mo, 其余是Ni) 是含钴45%的形变合金以及含钴55%的精密铸造合金的代用品。瓦斯帕洛依合金用于制造在815°的受载条件下工作的涡轮叶片[5]。近年来, 创制出一种含稀缺合金元素低的哈斯捷洛依X热强合金(见附录I)。这一合金是含钴、铌和镍高的哈斯捷洛依合金A、哈斯捷洛依合金B和哈斯捷洛依合金C的代用品。由于合金中铁的含量很高, 在熔炼时有可能用铬铁或钼铁代替纯铬或纯钼。这种合金容易变形, 具有令人满意的热强性和抗氧化性(在850~900°以下), 并且适于制造薄板和厚板、条材和线材以及各种精密铸件。在1165~1175°加热10分钟, 随后用空气冷却, 可获得最好的机械性能。

哈斯捷洛依合金X在高温条件下经过长时间停留后可获得时效的倾向, 因而合金的塑性降低, 但降低的程度不如哈斯捷洛依合金C。

哈斯捷洛依合金X的板材可用于制造喷气式发动机的各种零件[6]。

各种合金的退火板材在高温时的强度极限和延伸率的比较数据列于图1。哈斯捷洛依合金X的持久强度试验结果列于图2。

在美国利用一种在温度1200°以下不起皮的NA 22H热稳合金。合金的成分: 43~50%Ni, 26~29%Cr, 4~6%W, 1.3%以下的Mn, 1.5%以下的Si, 其余是铁。

各种热强合金(NA 22H, 35Ni—15Cr, 25Cr—20Ni和25Cr—12Ni)蠕变试验和持久强度试验的结果表明, NA 22H合金在高温时具有最大的强度。在985°引起蠕变 $10^{-4}\%$ /小时的应力等于1.61公斤/毫米², 而在1200°引起蠕变 $10^{-4}\%$ /小时的应力等于0.175公斤/毫米²。

经100小时引起试样断裂的应力在985°时为3.64公斤/毫米², 而在1200°时为0.7公斤/毫米²。经1000小时引起试样断裂的应力在985°时为2.52公斤/毫米², 而在1200°时为0.35公斤/毫米²。

在1095°和1205°进行悬梁蠕变试验(Консольное испытание на ползучесть)时已经确定, NA 22H合金比25—20型普通铬镍钢的抗蠕变性大得多。

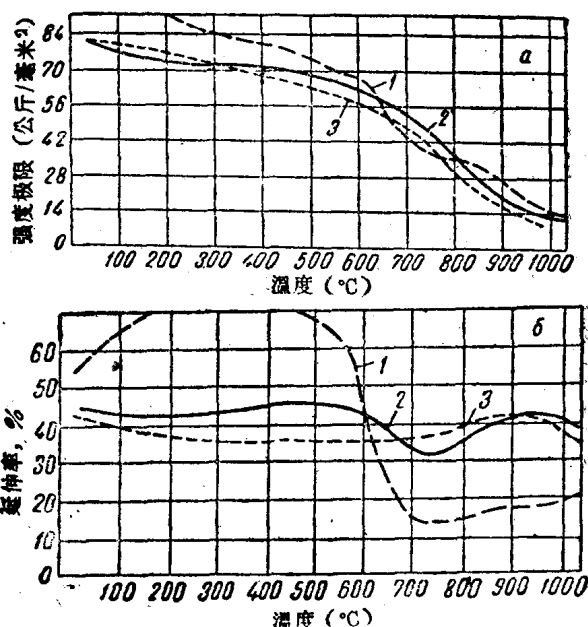


图 1 各种合金退火板材的强度极限 (a) 和延伸率 (b)
与温度之间的关系

1—海奈斯 (Хайнес) 合金 25 (化学成分见附录 I)；2—哈斯捷洛依合金 X (化学成分见附录 I)；3—穆尔季美特 (Мультимет) 合金 (0.08~0.16% C, 20~22.5% Cr, 19~21% Ni, 2.5~3.5% Mo, 2~3% W, 18.5~21% Co, 0.75~1.25% Nb+Ta, 0.1~0.2% N)

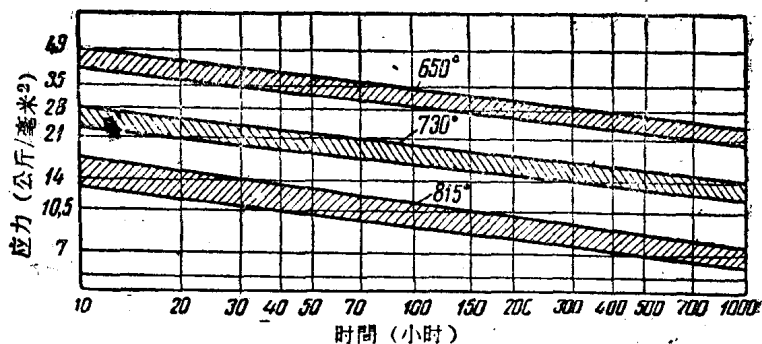


图 2 哈斯捷洛依合金 X 的退火板材在高温时的持久强度

* 原文漏%，特此补上——译者。

NA 22 H 合金和其他的高镍合金一样，不用于制造在含大量硫化氢 (0.115 克/米^3 以上) 的还原气氛中工作的零件。在过剩空气的情况下甚至硫的含量为 230 克/米^3 时，对合金也不发生显著的腐蚀影响，但是当过剩氧的含量不足时，合金可能迅速地腐蚀。以硫化氢形态存在的硫，当其含量在 0.9 克/米^3 以下时，即使在氧气不足的情况下也不会产生不良的影响。

NA 22 H 热强合金的热膨胀系数较其他合金低，而在 13.12×10^{-6} ($40 \sim 460^\circ$) 至 15.64×10^{-6} ($40 \sim 1015^\circ$) 的范围内变动。

NA 22 H 合金的可焊性令人满意。焊接时采用化学成分与母体金属相同的焊条（焊条上涂有特殊涂料）。在焊接普通的薄壁制件（10 毫米以下）时，不需要将制件预先加热。

NA 22 H 合金在制造各种零件方面获得了广泛的应用。例如，这种合金可用来制造最高温度达 1200° 的连续式退火炉中的辐射管，工作温度达 1150° 的吸热式煤气发生炉罐，蒸汽过热器中固定反射片的棒，封闭式马弗炉中的高速鼓风机，转炉中的导轨，以及其他等等零件〔7〕。

提姆根轴承公司（Фирма Тимкен Роллер Беринг）曾提出一种 16—25—6 热强合金（表 1），目前已广泛应用于生产增压压缩机、喷气式发动机和固定式大型燃气轮机。这种钢不含铌、锆或钨这一类稀缺元素，但炼钢时要消耗大量的镍，镍在钢中的含量为 26%。为了得到完全的奥氏体组织，以保证钢的良好热强性，镍的含量这样高是必要的。曾采用过也能促使形成奥氏体组织的锰来代替镍。钢中镍的含量减低，氮的含量就允许增加，因为锰不同于镍，它能增加氮在钢中的溶解度。氮对钢的抗蠕变性起有利的影响，在初次结晶时氮是奥氏体的良好稳定剂。

同时还创制出一种新的 16—15—6 热强合金（表 1），这种合金目前已运用于生产中。在这种钢内硅、铬和钼的含量仍保持和 16—25—6 钢中相同，锰的含量从 2% 增至 6.5~8.5%，镍的含量从 24~27% 减至 14~17%，即减低了 40% 左右；碳的含量从 0.12% 减至 0.08%，氮的含量从 0.10~0.20% 增至 0.15~0.25%。

表 1

16—15—6 和 16—25—6 合金的化学成分

合 金	化 学 成 分 (%)						
	C (不超过)	Mn	Si (不超过)	Cr	Ni	Mo	N
16—15—6	0.08	6.6~8.5	1.0	15~17.5	14~17	5.5~7.0	0.15~0.25
16—25—6	0.12	2.0	1.0	15~17.5	24~27	5.5~7.0	0.1~0.2

16—15—6 和 16—25—6 合金經 1175° 淬火后在不同溫度下的持久强度列于表 2。

表 3 中示出 16—15—6 合金在 1175° 淬火后的蠕变速度。

表 2

16—15—6 和 16—25—6 合金的持久强度

合 金	試驗溫度 (°C)	应 力 (公斤/毫米 ²)	至断裂的持 續 时 間 (小时)	延 伸 率 (%)	收 縮 率 (%)
16—15—6	600	35.0	549	13.5	15.0
16—25—6	600	35.0	226	9.0	16.7
16—15—6	700	17.5	377	81.5	68.3
16—25—6	700	17.5	263	16.0	18.0
16—15—6	760	14.0	92	63.0	62.5
16—25—6	760	14.0	106	15.5	24.1

将 16—25—6 和 16—15—6 热强鋼的性能作一比較便可看出，16—15—6 淬火鋼在 600—760° 时的持久强度和 16—25—6 淬火鋼是相同的。只不过 16—15—6 鋼在 760° 获得时间为 1000 小时的耐用性的应力較 16—25—6 鋼少。新創制的 16—15—6 鋼断裂时的塑性要高于 16—25—6 鋼。

16—15—6 鋼和 16—25—6 鋼一样，具有良好的可焊性和冷变形时的强化性能〔8〕。

最近几年，美国炼制出下列几种新的鎳基热强形变合金：M—252，尤吉美特 (Юдимет) 500 和因科 (Инко) 700。这些合金用于制造噴气式发动机的渦輪叶片。

在表 4 和表 5 中列出鎳基和鈷基 (S—816) 热强合金的化学成

分和持久强度。

表 3

16—15—6 合金的蠕变速度

試驗溫度 (°C)	應力 (公斤/毫米 ²)	在下列時間 (小时) 內的蠕变速度 $\times 10^{-3}$ (%/小时)					
		500	1000	1500	2000	2500	3000
650	17.5	2.02	1.04	0.87	0.84	1.34	2.60
650	14.0	0.71	0.36	0.21	—	—	—
700	10.5	1.00	0.45	0.43	0.49	0.68	1.14
700	8.75	0.5	0.22	0.13	0.11	—	—
760	5.07	0.17	0.26	0.38	0.58	—	—
760	3.5	0.15	0.11	0.11	0.11	—	—

表 4

各种热强合金的化学成分

合 金	元 素 的 含 量 (%)									
	C	Co	Ni	Cr	Mo	W	Na	Ti	Al	Fe
S—816	0.40	42	20	20	4	4	4	—	—	4
M—252	0.15	10	53	19	10	—	—	2.5	0.75	4
尤吉美特 500	0.10	14	55	19	4.25	—	—	3	3	1
因科 700	0.10	28	48	15	3	—	—	2.5	2.5	1

表 5

某些热强合金在不同温度下的持久强度

合 金	在下列溫度 (°C) 时經 100 和 1000 小时試驗后的持久强度极限 (公斤/毫米 ²)									
	650		730		815		870		980	
	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000
S—816	42	31.5	25.2	19.6	16.8	12.3	9.8	6.7	3.8	2.1
M—252	—	—	36.4	24.5	20.3	12.6	11.2	7.0	—	—
因科 700	—	—	51.1	42	29.4	21.0	19.6	13.0	4.5	2.5

合金 S—816 和因科 700 是在电弧爐中用普通方法炼制的，而合金 M—252 和尤吉美特 500 是在感应电爐中真空炼制的。加有鈦和鋁的鎳基合金在真空中熔炼，可保証获得高质量的金屬：与普通方法炼制的合金相比，含非金属夹杂物較純，机械性能和可鍛性都較好。

鎳基合金經处理后可获得很高的机械性能。

在表 6 中列出用不同合金制造的燃气輪机叶片的热处理规范。

表 6

各种不同合金的热处理规范

合 金	由均匀化溫度淬火			时 效		
	溫 度 (°C)	时 間 (小时)	冷 却 剂	溫 度 (°C)	时 間 (小时)	冷 却 剂
S—816	1175	1	水	760	12	空 气
M—252	1065	4	空 气	760	15	空 气
尤吉美特 500	1080	4	空 气	845	24	“
				760	16	“
因科 700	1175	2	空 气	870	4	“

合金尤吉美特 500、M—252、因科 700 在 540~925° 范围内的强度极限要高于合金 S—816 的强度极限（合金尤吉美特 500 在 870° 时的强度极限为 70 公斤/毫米² 以上）。在 1095~1150° 范围内出现相反的现象：合金 S—816 的强度极限高于上述三种鎳基合金。

在表 7 中列出叶片的模鍛溫度规范。试图在較高的溫度下模鍛叶片，結果造成金屬的断裂。

在高温（鍛造溫度和热处理溫度）时，鎳基合金在离表面約 0.05 毫米的深度内有晶間腐蝕的倾向。合金的这种氧化表面可通过在酸溶液中电解浸蝕的办法去除之。

表 7

各种不同合金的模鍛溫度规范

合 金	模 鍛 溫 度 (°C)	
	初 溫 度	終 溫 度
S—816	1150	870
M—252	1095	955
尤吉美特 500	1095	1040
因科 700	1095	980

研究用普通精密法鍛制的叶片可以証明，叶片的凹面在快速移动的阳模冲击下，加工硬化的程度較挤入阴模內的凸面严重。不均匀的

加工硬化引起叶片不相同的机械性能。为了避免这一现象，叶片必须用軋制法制造，并制訂相应的工艺。軋制法有以下的优点：金屬沿縱向方向流动，因而叶片的弯曲面可得到均匀的加工硬化。在軋制时，金屬沿側向流动的程度不大，減少了由于毛翹而造成的损失，这样可以大大地节约金屬。鍛制后在压床或鍛錘上經過冷压整的叶片，較鍛制叶片具有更好的机械性能〔9~11〕。

英 国

在英国广泛采用鎳基热强合金，即所謂尼莫尼克鎳鉻合金，以及奥氏体热强鋼和鉄素体热强鋼。

鎳和鉻是尼莫尼克鎳鉻合金的二个基本元素，这二个元素在加入鈦和鋁并經過相应的热处理后可保証高的热强性能。例如，尼莫尼克鎳鉻合金 80 A 的化学成分和 尼莫 尼克 鎳鉻 合金 80 相接近（不超过 0.06% C, 19~22% Cr, 不超过 1% Fe, 2.2~2.8% Ti, 不超过 0.35% Mn, 0.65% Si, 0.5~0.95% Al, 其余是鎳），但其中鋁和鈦的含量保持在上限（約 2.8% Ti 和 0.95% Al）。

尼莫尼克鎳鉻合金 80 A 的热处理方法和尼 莫尼克鎳鉻合金 80 相同：从 1080° 淬火（保溫 8 小时），在水中或空气中冷却，并在 700° 时效 16 小时。

尼莫尼克鎳鉻合金 80 A 适于在 650~750° 下工作，也可以在 800~850° 下作短時間的工作〔12〕。

尼莫尼克鎳鉻合金 80 A 的持久强度和蠕变特性見表 8。

表 8

尼莫尼克鎳鉻合金 80 A 的特性

試驗溫度 (°C)	在下列受載時間 (小时) 下的持久强度极限 (公斤/毫米 ²)					在下列時間 (小时) 內引起变形 0.1% 的蠕变极限 (公斤/毫米 ²)			
	100	300	1000	5000	10000	100	300	1000	5000
650	47	43	38.5	32	29	40	97.5	31.5	25
700	40	40	28	20	16.5	30	24	18	8.5
750	27.5	23.5	18	12	9.5	22	18	14	7

为了提高合金的热强特性，在尼莫尼克镍铬合金的成分中必须加入补充合金元素。这就创造出新的尼莫尼克镍铬合金 90 (18~21% Cr, 15~21% Co, 2~2.8% Ti, 0.8~1.2% Al, 低于 1% Fe, 0.1% C)；这种合金的热处理规范和尼莫尼克镍铬合金 80A 相同。尼莫尼克镍铬合金 90 在温度 850° 以下时具有很高的热强性，可用于制造喷气式航空发动机燃气轮机的动叶片。这种合金的锻造不会产生困难，锻造的温度范围为 1050~1150°。

尼莫尼克镍铬合金 90 的机械性能列于表 9 [13]。

表 9

尼莫尼克镍铬合金 90 的机械性能

试验温度 (°C)	短期拉力试验时的机械性能			在下列试验时间(小时)时的持久强度极限(公斤/毫米 ²)				在下列时间(小时)内引起变形0.1%的应力(公斤/毫米 ²)			
	强度极限 (公斤/毫米 ²)	屈服点 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	100	300	1000	5000	100	300	1000	5000
20	115	70	39	—	—	—	—	—	—	—	—
600	95	63	26	—	—	—	—	—	—	—	—
650	—	—	—	53.5	49.5	45	39.5	45	42	40	35
700	80	57	20	43	38.5	34	29	38	33	30	25
750	72	50	15	31.5	27.5	24	17	25	22.5	20	14
800	60	44	7	—	—	—	—	—	—	—	—
815	53	40	8	20	16.5	12.5	8	15	12.5	8.5	5

近年来曾创制出几种属于尼莫尼克镍铬合金一类的新合金：尼莫尼克镍铬合金 95 [14~15] 和尼莫尼克镍铬合金 100 [16~18]。

尼莫尼克镍铬合金 95 的化学成分：20% Cr, 16% Co, 1.75% Al, 3% Ti, 其余是镍。尼莫尼克镍铬合金 95 和尼莫尼克镍铬合金 90 相近，但由于前者钛和铝的含量增加（约 3% Ti 和 1.5% Al），故具有更高的热强性能。

为了得到最大的抗蠕变性，建议对合金采取下列热处理：从 1150° 淬火（保温 4 小时），在空气中冷却，再从 1080° 淬火（保温 6~8 小时），在空气中冷却，最后在 700° 时效（保温 16 小时），在空气中冷却。

合金经过上述热处理后的机械性能列于表 10、表 11 和表 12。