



数据加载失败，请稍后重试！

ЭИ698 ЭП220 ЭП99

镍基高温合金译文集

冶金工业部钢铁研究总院 编辑
冶金工业部长城钢厂
张 红 斌 主编

冶金工业部钢铁研究总院、冶金工业部
长城钢厂、抚顺钢厂、大冶钢厂、联合出版
上钢五厂、航空工业部新都机械厂

1983年4月·重庆



数据加载失败，请稍后重试！

序 言

ЭП220、ЭИ698和ЭП99三个镍基高温合金是在МИГ-21БИС、МИГ-23和МИГ-27 歼击机的燃气涡轮发动机P-13-30和P-29-300上分别用作涡轮叶片、涡轮盘和火焰筒材料。这三个合金是目前苏联变形合金中成分最高的合金。自五十年代中期以来，苏联对这三个合金在合金成分、组织、性能、热处理制度、生产工艺、强化机理、生产中的质量问题和实际使用性能等方面都发表过不少文献、资料，但十分分散和零乱。目前，我国正在试制WP-13和WP-15发动机，在研究和仿制生产这三个合金过程中，借鉴国外已发表过的文献、资料，无疑是有益的。为此，根据一九八一年八月成都会议纪要精神编辑了这本译文集。

微量元素对高温合金的作用是人所熟知的，特别是Mg的影响更为突出。本译文集还收集了一些研究Mg对高温合金作用的文献、资料，供研究和生产参考。

本译文集收集了 ЭП220合金 54 篇资料，16.2 万字；ЭИ698 合金 62 篇资料，18 万字；ЭП99合金27篇资料，9.5万字；镁的作用20篇，6.3万字；总计163篇资料，50万字。

本译文集由钢铁研究总院和长城钢厂负责汇编和审定，有关合金的使用、焊接和涂层等部分内容还经四二〇厂有关专家重新审定，由长城钢厂三分厂张红斌主编，长钢三分厂中试情报室负责出版的具体工作。

译文集出版经费是由航空工业部四二〇厂和冶金部钢铁研究总院、长城钢厂、抚顺钢厂、大冶钢厂、上钢五厂筹集。

译文编辑过程中得到两部领导部门、许多兄弟部门和同志们的支持和帮助，在此一并深表谢意。

由于我们水平有限，尤其是在外文技术术语等方面，难免有缺点和不确切之处，望广大读者批评指正。

编 者

1982年4月于北京

ЭИ698 (ХН73МБТЮ)

镍 基 高 温 合 金

目 录

序 言

ЭИ698 (ХН73МБТЮ) 镍基高温合金

- ЭИ698镍基高温合金评述..... (杨锦炎 马福俊 庄景云 张红斌) (1)
- ЭИ698 合金..... (С. Ф. Химушин) (10)
- 燃气涡轮叶片用弥散硬化镍基合金的选择..... (Е. Е. Левин) (15)
- 镍基热强涡轮盘合金合金化的基本前提条件和特点..... (К. И. Терехов) (18)
- 特种电冶金现状及发展方向..... (Е. И. Морозов) (22)
- 热强钢及合金中的铌..... (Л. Н. Зимина) (24)
- 合金化和合金的热强性..... (Е. Г. Назаров) (31)
- 碳化锆添加剂对ЭИ698镍基合金组织的影响 (文摘).....
(О. Kh. Fatkullin, G. V. Anisimova, R. F. Babikova和N. N. Konovalova) (35)
- 热处理及用锆和碳使ЭИ698合金补充合金化对相组成及其数量的影响 (文摘).....
(Z. S. Trukhanova, R. F. Babikova和A. S. Kleshchev) (35)
- 热强变形镍基合金ЭИ698中碳、铌、锆和碳化锆分布的自射线照相研究 (摘文).....
(O. Kh. Fatkullin, S. N. Kryukov, E. A. Soldatov, N. N. Rytov 和 G. S. Krykina) (36)
- 用自射线照相方法研究碳、铌、锆和碳化锆在ЭИ698合金中的分布.....
(O. X. Фаткуллин, С. Н. Крюков, Е. А. Солдатов, Н. Н. Рытов, Г. С. Крыкина) (36)
- ЭИ698(ХН73МБТЮ)合金真空电弧重熔时的脱氮程度..... (张红斌 编译) (40)
- 在真空铸锭上形成壁结物的机理, “锭冠”缺陷的形态和相组成.....
(В. В. Топилин] 和 В. К. Верзина) (41)
- 真空电弧重熔时壁结物、锭冠、锭冠缺陷的形成机理及防止锭冠缺陷的方法.....
(张红斌 编译) (45)
- 关于形成“锭冠”型缺陷的问题.....
(Г. И. Морозин, Л. Н. Белянчиков, М. Д. Жарницкий, В. А. Рученков) (46)
- 提高热强合金半制品机械性能的某些方法..... (А. Ф. Белов) (49)
- 电渣重熔和真空电弧重熔ХН73МБТЮ合金的质量.....
(А. В. Шелгаева, М. И. Кричевец, Н. С. Шинкина和А. И. Комиссаров) (54)
- 难变形合金的分类及ЭИ698合金的塑性变形..... (张红斌 编译) (58)
- 难变形热强合金的高温锻压.....
(М. В. Растегаев, Ю. В. Виноградов, В. Я. Филатова) (62)
- 变形分散度对热强合金加工的影响.....

- (Ф. С. Лачугин, Н. М. Келешьян, А. Э. Ятвецкая) (67)
- 热强合金ЭИ698ВД的塑性性能与变形温度和变形速度的关系.....
- (Г. Г. Тюленев, Ю. Н. Чумало, Б. Н. Казаринов) (70)
- 由ЭИ698和ЭП742合金铸造毛坯所获得的模锻件质量的研究.....
- (М. С. Подольский, М. И. Мусатов, В. И. Кузьмичев, В. Ф. Кузин)(73)
- 由镍基热强合金粉粒所制成的复杂形状精密毛坯的等温模锻.....
- (Ю. П. Согришин,
- Г. С. Гарибов, Л. С. Буславский, С. А. Касьянов, А. А. Скотников) (75)
- 关于ХН77ТЮР合金在热压力加工时的晶粒不均匀性..... (М. В. Растегаев) (79)
- ЭИ698ВД热强合金的组织与性能与热压力加工条件的关系.....
- (М. В. Растегаев, Ю. В. Виноградов, В. П. Степанов, В. Я. Филатова)(82)
- 硼和碳含量对ЭИ698镍基合金工艺塑性的影响 (文摘)
- (I. K. Kolpashnikova,
- М. S. Podol'skii, I. S. Kalinicheva, К. А. Okolelova 和 V. P. Arbina) (88)
- 扩散退火时高合金化镍基热强合金中的组织变化.....
- (А. С. Клещев, Н. Н. Корнеева, О. М. Юрина, Л. С. Гузей) (88)
- 分级时效对ЭИ698热强合金组织及机械性能的影响
- (Р. Р. Романова,
- А. Н. Барановский, В. В. Бычков, Н. Н. Буйнов, Р. Г. Рыбалов) (91)
- 冷却速度对镍合金组织的影响..... (О. Х.
- Фаткуллин, Е. А. Зверева, Д. С. Попов, Н. Н. Рытов, Г. П. Усачева)(97)
- 镍基热强合金ЭИ698ВД的断口类型和冲击值与晶粒度的关系 (文摘)
- (А. S. Kleshchev, L. P. Kazharskaya 和 O. N. Vlasova) (100)
- ЭИ698ВД变形合金的断口特征和冲击值与晶粒度的关系.....
- (А. С. Клещев, Л. П. Кажарская, О. Н. Власов) (101)
- ЭИ698ВД镍基合金锻件中的层状断口 (文摘)
- (А. S. Kleshchev,
- Н. N. Korneeva, О. М. Yurina, Т. А. Gordeeva 和 Yu. B. Solov'ev) (104)
- ХН73МБТЮ-ВД变形合金断口组织的研究..... (С. П.
- Артемова, Г. Е. Мысина, Б. А. Филатов, И. Д. Донец 和 В. С. Пакулева)(104)
- 粉粒镍基抗蠕变合金的组织与相组成 (文摘)
- (Е. А. Zvereva 和 Z. S. Trukhanova) (108)
- ЭИ698 镍基热强合金中碳化物的可溶性 (文摘)
- (О. Kh. Fatkullin,
- Р. F. Babikova, S. N. Kryukov, N. N. Konovalova 和 N. N. Rytov) (108)
- 真空电弧重熔ЭИ698镍基合金钢坯中枝晶偏析的改善 (文摘)
- (V. A. Gorin,
- V. A. Rybintsev, E. I. Morozov, L. S. Guzey 和 E. I. Sokolovskaya) (109)
- ЭИ698镍基合金中铬和镍的扩散系数与温度的关系 (文摘)
- (S. N. Kryukov, E. A. Soldatov, A. Kh. Fatkullin 和 E. A. Zvereva) (109)
- 镍-铬-(钛) 铝-钴系合金组织的电子显微研究 (文摘)
- (G. V. Anisimova, N. L. Vlastova, R. G. Rybalov 和 N. N. Korneeva) (110)
- 显示ЭИ698合金显微组织的试剂..... (А. П. Полякова, В. М. Нестеренко) (110)

ЭИ698合金的机械性能和持久强度与试样截取方向和组织的关系… (张红斌 编译)	(112)
关于影响涡轮盘用高温合金持久缺口敏感性的某些因素… (张红斌 编译)	(112)
热疲劳强度的 变形-动力学判据… (П. И. Котов)	(113)
应用 变形-动力学判据计算寿命… (Р. А. Дульнев)	(117)
关于金属材料塑性的 标准特性… (А. А. Прус)	(119)
Ni-Cr基弥散强化铸造合金组分的 预报…	
…… (В. А. Новожинова, Ю. А. Минаев, В. Н. Аверкин)	(120)
燃气涡轮发动机经长期工作后涡轮盘强度特性的变化特点…	
…… (Т. К. Брагина, Л. М. Ларичева)	(124)
燃气涡轮发动机长期工作后涡轮盘材料在应力集中区域的损坏性…	
…… (Т. К. Брагина, Л. М. Ларичева)	(134)
ЭИ698ВД热强合金在高温条件下的 抗疲劳强度…	
…… (А. В. Желдубовский, И. И. Ищенко)	(139)
燃气涡轮机涡轮盘热疲劳强度的计算方法…	
…… (Л. Б. Гецов, М. Г. Кабелевский, В. К. Дондошанский, О. Ф. Чернявский, А. Е. Гинзбург, Л. И. Столярова, Э. Ф. Черняев)	(142)
热强合金热强性特征分散度变化的规律性… (Р. Е. Шалин)	(150)
燃气涡轮发动机涡轮盘合金热强性特征的分散度和温度-动力学关系…	
…… (Е. Р. Голубовский, И. П. Булыгин, Ф. В. Юшакова)	(157)
热强合金力学试验用试样的电触加工…	
…… (В. И. Савушкин, В. Т. Ляменков, А. И. Батулин, В. А. Анни)	(163)
燃气涡轮发动机涡轮盘榫槽部分的热塑性强化。残余应力的测定…	
…… (Б. А. Кравченко, Г. Н. Гутман, Л. Е. Батрин, В. Г. Фокин)	(165)
ВТ9和ЭИ698ВД合金压气机盘表面塑性变形最佳方法的探讨…	
…… (В. Н. Цейтлин, Ю. В. Полоскин, Н. Л. Макаровский, В. И. Волков)	(168)
优质钢及合金切削废料压块… (Ф. С. Лачугин, Г. Д. Дроздов)	(173)
热强镍基合金按电子束焊时的可焊性分类…	
…… (В. П. Морочко, Л. И. Сорокин, И. Ю. Зыбко)	(173)
用电子束焊和电弧焊的热强镍合金焊接接头性能的比较评定…	
…… (В. П. Морочко, Л. И. Сорокин, Б. Ф. Якушин和В. Ф. Моряков)	(177)
电子束焊接时焊缝金属的合金化对ХН73МБТЮ热强合金焊接接头性能的影响…	
…… (В. П. Морочко, Б. Ф. Якушин和В. Г. Федоров)	(184)
热强镍基合金焊接接头加热时的断裂特征…	
…… (В. П. Морочко, И. П. Жигина和Л. И. Сорокин)	(190)
减少热强合金中发生近焊缝热裂纹的电子束焊动力学参数的选择…	
…… (В. П. Морочко, Б. Ф. Якушин和А. М. Веригин)	(193)
热强合金ХН73МБТЮ (ЭИ698) 热处理制度的作用…	
…… (В. П. Морочко, Б. Ф. Якушин, Л. И. Сорокин和И. А. Смиян)	(198)
热强合金焊接接头的电液处理…	

ЭП220 (ХН51ВМТЮКФР) 镍基高温合金

- ЭП220——一种叶片用高强度难变形镍基高温合金……………(田世藩 王炳林) (211)
- ХН55ВМТКЮ-ВД[ЭИ929-ВД]、ХН62МВКЮ-ВД[ЭИ867-ВД]、ХН51ВМТЮКФР-
ВД[ЭП220-ВД]牌号合金热轧棒材和车削棒材产品质量鉴定规则(苏联国家标准)
准)……………(ГОСТ 5.1797—73) (216)
- ЭП220合金……………(Ф. Ф. Химушин) (221)
- 真空熔炼对热强合金性能影响的机理……………(Г. С. Черняк和С. Б. Масленков) (225)
- 热强合金在真空电弧炉中重熔时性能得到改善的原因……………
……………(А. П. Гуляев, Г. С. Черняк, С. Б. Масленков) (231)
- 热强合金自耗电极的非金属夹杂污染度对真空电弧重熔时金属精炼的影响……………
……………(А. В. Лейтес, Н. А. Миронова和Н. Е. Киссиль) (238)
- ЭП220合金中氮化物的生成条件和氮在ЭП220合金液体中的溶解度……………
……………(С. В. Богданов, Е. В. Буцкий, В. Т. Логинов, В. А. Григорян) (241)
- 氮与ЭИ617、ЭП220、ЭП109型液态合金的相互作用……………
……………(А. Г. Фридман, Л. Н. Колупаев,
А. И. Триполитов, А. Я. Стомахин, А. Ф. Филиппов, М. М. Тлюев) (244)
- 热强合金冶炼时排除氮化物的机理……………
……………(А. В. Лейтес, Н. А. Миронова, Н. Е. Киссиль) (248)
- ХН51ВМТЮКФР合金在真空电弧重熔时熔化速度对脱氮程度的影响……………
……………(张红斌 编译) (252)
- 高温合金在电子束重熔时的脱氮程度……………(张红斌 编译) (253)
- 真空电弧重熔的熔化速度和金属质量……………(М. Е. Альперович,
Л. Н. Белянчиков, В. С. Лактионов, А. И. Щербаков和Ю. В. Чернов) (254)
- 镍基合金的超声波处理……………(Н. Н. Дмитриев, О. В. Абрамов, В. П.
Куделькин, Е. Н. Миленин, Б. Е. Зайцев, О. В. Рутес, Г. С. Черняк) (256)
- 在结晶时超声波处理对镍基热强合金显微化学不均匀性和性能各向异性的影响……………
……………(С. Б. Масленков和О. В. Рутес) (261)
- 超声波处理对镍基热强合金显微组织的影响……………
……………(Е. Н. Миленин, В. П. Куделькин, С. И. Филиппов, В. П. Варлаков) (267)
- 超声波处理对镍基合金机械性能的影响……………
……………(Н. Н. Дмитриев, О. В. Абрамов, В. П. Кудель-
кин, Т. М. Гребцова, В. В. Топилин, Е. Н. Миленин, О. В. Рутес) (270)
- 在水冷结晶器中超声波处理铸锭的规范……………(Е. Н. Миленин,
В. П. Куделькин, В. В. Топилин, О. В. Абрамов, Н. Н. Дмитриев) (274)
- 结晶过程中超声波处理的镍基高热强合金弥散硬化的动力学特点……………
……………(Е. Н. Миленин, О. В. Абрамов, В. П. Варлаков) (277)

镍基热强合金结晶过程中超声波处理效率的评定	.....	(Е. Н. Миленин, О. В. Абрамов, В. И. Коврига)	(280)
ЭП220合金的塑性变形	.....	(М. Я. Дзугутов)	(282)
镍基热强合金变形阻力和塑性指标的研究	.....	(Г. Я. Гун, П. И. Полухин, В. С. Скугорев, А. М. Галкин, В. Н. Жучин, В. А. Исаев, С. В. Карлов, Ю. В. Запорожцев)	(283)
ЭП220ВД合金热塑性变形时决定其塑性的因素分析	.....	(И. В. Доронин, Ю. В. Запорожцев, В. Ф. Антипов, В. И. Макаренко)	(287)
ЭП220ВД合金在热压力加工时的塑性及其与组织的关系	.....	(М. Л. Бернштейн, Ю. В. Запорожцев, С. В. Карлов, И. В. Доронин, Г. Г. Тюленев)	(290)
难变形合金小型型材的轧制	.....	(Б. М. Короткевич, В. Ф. Антипов, В. М. Замотин, В. А. Пашнин, С. В. Карлов, Ю. В. Запорожцев, В. М. Егоров)	(293)
热挤压在特种冶金中的应用	.....	(Ю. В. Манегин, Г. И. Тараненко)	(297)
高强度难变形合金的挤压和轧制	.....	(Н. И. Корнеев, Н. Д. Хабаров, С. Н. Тарараев, В. Ф. Калугин, М. Я. Дзугутов, Л. Г. Огурчиков, С. В. Карлов, Е. Г. Миленина и Ю. В. Виноградов)	(302)
用同位素研究钢在热挤压时的硅酸盐润滑剂	.....	(Ю. В. Манегин, Г. А. Рашин, И. В. Анисимова, Т. А. Бурцева)	(306)
用不同方法生产ЭП220热强合金棒材的工艺经济指标	.....	(Ю. В. Манегин, Г. И. Тараненко, В. А. Исаев, Ю. В. Виноградов и Е. Г. Меленина)	(310)
ЭП220合金的变形强化曲线和塑性曲线	.....	(张红斌 编译)	(311)
铈对ЭП220热强镍合金组织和性能的影响	.....	(Г. А. Свешникова, С. Б. Масленков)	(313)
硅对镍基合金相组成的影响	.....	(Г. Д. Пигрова, С. И. Коркка, Т. М. Грбцова)	(318)
镍基热强合金中的碳化物相	.....	(Г. Д. Пигрова, Е. Е. Левин)	(322)
镍基热强合金金属间强化相的溶解温度	.....	(А. В. Логунов, Н. В. Петрушин, И. М. Хацинская)	(326)
关于镍合金的灾难性氧化	.....	(Е. Г. Иванов, П. Т. Коломыцев, Л. А. Костина)	(328)
镍铬合金在电化学处理时的电流效率	.....	(Н. А. Амирханова, С. Ф. Солодовников, О. М. Татарина, Л. Г. Рафикова)	(330)
关于变形表面层中残余应力的测定	.....	(В. С. Мухин, В. Г. Савагеев, Л. В. Матвеев)	(333)
关于周期弹性极限的测定	.....	(Л. Б. Гецов, К. М. Кононов, Ю. И. Ребяков)	(335)
金属热疲劳损坏的显微组织研究法	.....	(Б. М. Гугелев, Л. Б. Гецов, Ю. А. Журавлев, В. Г. Новикова)	(339)

关于循环周期对热强合金在恒温和变温下抗低周疲劳性的影响问题	.....	(В. К. Адамович) (342)
关于加载形式对热强合金低周疲劳强度的影响	.....	(Л. Б. Гецов, К. М. Кононов, Ю. Д. Мартынов, Ю. Н. Ребяков, Н. И. Ревякина, А. Д. Трухний) (344)
循环周期对热强合金在恒温和变温下低周疲劳强度的影响	.....	(Л. Б. Гецов) (346)
热强材料在高温下循环变形的特点	.....	(Л. Б. Гецов, С. В. Горский, К. М. Кононов, Ю. Н. Ребяков) (349)
热强合金在复杂加载程序下的变形阻力	.....	(Л. Б. Гецов) (353)
金属在复杂加载程序下损坏和断裂的积累问题	.....	(Л. Б. Гецов) (358)
在不同加载形式下热强合金中裂纹形核和发展的某些特点	.....	(Л. Б. Гецов) (365)
燃气涡轮叶片在循环冷热变换和重复交变弯曲同时作用下断裂的研究	.....	(Г. С. Писаренко, А. И. Петренко) (368)
热模锻机模具磨损机理	.....	(Э. Ф. Хайретдинов, В. Д. Яковлев) (374)
研究涡轮叶片在燃气流中热循环和振动下的寿命的某些问题	.....	(А. И. Петренко) (376)
冷热变换和腐蚀性介质对燃气轮机叶片表面层和工作能力的影响	.....	(А. П. Волощенко, Г. Н. Третьяченко, О. И. Марусий, Б. М. Зинченко) (381)
燃气涡轮叶片热强材料的耐激冷激热性	.....	(Л. Б. Гецов, А. Ф. Малыгин, Н. Н. Ревякина, И. М. Баландин) (386)
ЭП220合金叶片渗铝和表面复合合金化对其在含海水盐分燃料燃烧产物中的工作能力的影响	.....	(Г. Н. Третьяченко, А. П. Волощенко, Л. Б. Гецов, Б. М. Зинченко, Е. В. Иванов) (390)
高合金化镍铬基热强合金的扩散涂层	.....	(394)
某些涡轮叶片热强合金的渗铬铝规范	.....	(П. Т. Коломыцев) (394)
真空渗铬铝所获得涂层的组织	.....	(П. Т. Коломыцев) (396)
渗铝涂层对热强镍合金瞬时和持久强度的影响	.....	(Ю. А. Тамарин) (402)
高合金化镍基热强合金叶片上形成渗铝涂层的机理	.....	(П. Т. Коломыцев) (405)
高热强性弥散强化镍合金显微硬度的温度关系的特点	.....	(В. П. Бунтушкин, Б. Н. Бабич) (407)
金属的无氧化粉粒化	.....	(С. Г. Глазунов, О. П. Солонина, И. Ф. Черешева) (409)

ЭП99 (ХН50ВМКТЮР) 镍基高温合金

ЭП99镍基高温合金	.....	(杨枏森 魏育环) (417)
ЭП99合金简介	.....	(Ф. Ф. Химушин) (424)
燃气轮机用耐热材料的研究	.....	(Л. Б. Гецов, А. И. Рытвинский) (426)
ЭП99合金有关数据的摘要	.....	(张红斌 摘编) (432)
热强合金高温塑性的研究	.....	(Е. М. Концевая, В. И. Люкевич和И. Я. Сокол) (435)

- ЭП99合金的类属及其塑性变形特点……………(张红斌 编译) (439)
- 热变形时固溶体分解对热强合金塑性的影响……………
……………(С. Р. Бирман, Е. М. Концевая 和 И. Я. Сокол) (441)
- 燃气涡轮发动机导向叶片和工作叶片表面层化学成分的研究……………
(Т.В. Терновая, Н. Н. Тананаева, Л.Б. Новикова, Н. А. Костромина) (443)
- 燃气涡轮叶片材料在使用过程中表面层化学成分变化规律性的研究……………
……………(Г. Н. Третьяченко, Э. П. Косыгин, Л. В. Кравчук) (443)
- 原始组织对ХН50ВМКТЮР合金再结晶动力学的影响……………
……………(Г. Н. Корнеев, И. Я. Сокол) (449)
- 显微组织对ЭП99合金性能的影响……………(张红斌 编译) (450)
- σ -和 μ -相的分离方法……………(Н. Ф. Лашко) (454)
- 用直接分光光度法分析钢及合金的稀土元素含量……………
……………(П. К. Спицын, И. Г. Сурин,
Н. С. Рыбакина, Т. М. Писарева, Н.И. Забавникова, А.В.Горбунова) (458)
- 电解中副反应产物的预防和消除……………(Н. Ф. Лашко) (462)
- 不稳定运行状态对燃气涡轮发动机叶片工作能力的影响的研究……………
……………(Г. Н. Третьяченко, Л. В. Кравчук, Э. П. Косыгин) (469)
- 在使用条件下燃气涡轮发动机叶片中ЭП99材料损坏的某些规律……………
……………(Г.Н. Третья-
ченко, Э. П. Косыгин, Л. В. Кравчук, В. В. Осаюк, В. Н. Ррденко) (475)
- 船舶燃气轮机使用时集气管损坏原因的研究……………
……………(Б. Г. Викторов, Л. Б. Гецов, В. А. Долгов) (480)
- 燃料燃烧产物中所含的硫化物对涡轮叶片材料表面层破坏的影响……………
……………(Г. Н. Третьяченко, Э. П. Косыгин, Л. В. Кравчук) (484)
- 关于燃料燃烧产物中的硫化物对热循环加载下船舶燃气涡轮发动机叶片工作能力的影
响……………(Г. Н. Третьяченко, Л. В. Кравчук, Э. П. Косыгин) (490)
- 燃料中所含的硫对燃气轮机耐热结构钢腐蚀的影响……………(Л. П. Майко,
Е. П. Серегин, Ю. В. Микулин, Л. А. Александрова, В. И. Петров) (495)
- ЭП99合金经试验台工作后在腐蚀性介质中抗低周疲劳强度的研究……………
……………(Г. Н. Третьяченко, Л. В. Кравчук, В. В. Осаюк, Э. П. Косыгин) (499)
- 热强材料在非对称热机械载荷下热周期寿命的研究结果……………
……………(Л. П. Лозицкий, А. Н. Ветров, Н. А. Ковешников) (503)
- 热强合金的熔融填料焊接……………
……………(Р. А. Мусин, В. Н. Анциферов, В. Ф. Квасницкий) (509)
- 焊接热强合金ЭП99与ЭИ868和12Х18Н9Т钢用的焊料……………
……………(Л. И. Сорокин, С. П. Филиппова, Л. А. Петрова) (526)
- 用不同牌号的焊条焊接的ЭП99合金焊接接头的热疲劳强度……………
……………(Л. П. Лозицкий, В. Ф. Березлев,
А. А. Иваненко, Э. Г. Королева, Б. И. Мусиенко, М. А. Молочков) (529)

- 镍基合金焊接接头热处理时形成裂纹倾向性的评定……………
 ……………(Ю. С. Багдасаров, Л. И. Сорокин 和 Б. Ф. Якушин) (533)
- 用磷酸盐作粘合剂的耐火涂层……………
 (Ф. Ю. Абзгильдин, Р. А. Амиров, А. Х. Биглов, Л. В. Хорошавин) (536)

镁在高温合金中的作用

- 国外关于镁在高温合金中作用问题的进展…………… (张红斌) (543)
- 镁对热强合金组织和性能的影响机理的研究…………… (В. В. Топилин) (553)
- 用镁微合金化对ЭП220-ВД和ЭП109-ВД合金组织的影响……………
 ……………(З. М. Калинина,
 М. Ф. Лонгинов, Н. С. Хисматуллина, Л. В. Сергеева, Г. Г. Тюленев,
 Г. И. Парабина, Т. М. Гребцова, В. К. Цветкова, В. В. Топилин) (559)
- 镁对镍基热强合金组织的影响……………
 ……………(З. М. Калинина, И. Г. Вертий, Н. С. Хисматуллина,
 М. Ф. Лонгинов, Л. В. Сергеев, Б. А. Филатов, С. П. Аремова) (563)
- 镁对ХН70ВМТЮ合金晶界组织和性能的影响……………
 ……………В. В. Топилин, В. К. Верзина) (566)
- 镁对高温合金塑性的影响及其在某些高温合金中最佳含量的控制范围……………
 ……………(张红斌 编译) (570)
- 镁和碳对ХН56ВМТЮ合金工艺塑性的影响……………
 ……………(В. В. Топилин), В. К. Цветкова, И. Ф. Тевосяна) (571)
- 镁对ХН70ВМТЮ热强合金性能和断裂特征的影响……………
 ……………(В. В. Топилин,
 И. А. Прокофьева, А. В. Смирнова, В. К. Верзина 和 И. И. Люфанова) (574)
- 铝对ХН56ВМКЮ合金中残余镁相数量的影响……………
 ……………(Т. М. Гребцова, В. В. Топилин) (578)
- 显示ХН56ВМКЮ合金中镁相的浸蚀剂……………
 ……………(Т. М. Гребцова, С. Б. Масленков) (579)
- 合金在真空感应炉中熔炼时所形成的凝聚物的成分和性能……………
 ……………(Ю. А. Пыльнев, А. И. Строганов, В. Д. Беспалов,
 Н. В. Борисов, Э. Н. Глазырина, В. Д. Жидков, Г. А. Васильев) (580)
- 29НК合金在真空感应熔炼时氧和镁在金属中的行为……………
 ……………(К. П. Губин, С. Н. Падерин, П. П. Арсентьев, Е. М. Ломков) (584)
- 各种因素对复杂合金化合金中镁含量的影响……………
 ……………(К. П. Губин, С. Н. Падерин, П. П. Арсентьев) (588)
- 真空电弧重熔方法熔炼的钢及合金的分析数量简化法…………… (Л. И. Крыванова,
 Э. Л. Осминин, Н. В. Шаталин, С. М. Баранова, Л. Л. Свиридова) (589)
- 镁添加剂对热强镍合金工艺塑性的影响……………
 ……………(Г. С. Черняк, А. В. Смирнова, С. Б. Масленков) (591)

微量元素对镍基超合金热加工性的影响.....
.....(S. Yamaguchi, H. Kobayashi, T. Matsumiya, S. Hayami)(597)

改善Ni基合金高温强度及塑性的工艺.....
.....(J. S. Ringwood, J. H. Olson 和 C. G. Bieber) (604)

Ni-Cr-Co 合金.....(P. L. Twigg 和 P. J. Parry)(608)

制造Ni基沉淀硬化合金的工艺.....(D. R. Muzyka和C. R. Whitney)(613)

添加Ti、Y、Zr和Mg对弥散强化尼赫罗姆铸锭组织形成的影响.....
.....(В. Б. Киреев, О. В. Абрамов, И. В. Абрамов) (623)

后记.....(625)

ЭИ698 镍基高温合金评述

杨锦炎 马福俊 庄景云 张红斌

ЭИ698合金是在ЭИ437型镍基合金基础上提高铝和钛的含量并加入铌和铈强化的镍基合金，是苏联冶金学家К. И. Терехов和Н. И. Куркина于1955年研制成功的[1]。

合金用于工作温度达750—800℃的燃气涡轮盘、导流片、承力环等部件。目前广泛用于制造МиГ-21MF歼击机的P13-300型涡轮发动机的I、II级涡轮盘和МиГ-23МС歼击机P29-300型涡轮发动机的I、II级涡轮盘和9—11级高压压气机盘。

一、化学成分

ЭИ698合金的化学成分(%)列于表1[1, 2, 3]。

表 1

年分	C	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Mo	Nb	Fe	B	Ce
1964	≤0.08	≤0.7	≤0.4	13—16	2.0—2.6	0.95—1.45	1.7—2.5	1.6—2.1	<4.0	—	—
(1965)	≤0.10	≤0.8	≤0.5	13—16	2.0—2.6	1.1—1.6	2.0—2.5	1.6—2.1	≤3.0	—	—
1969	≤0.08	≤0.6	≤0.4	13—16	2.35—2.75	1.3—1.7	2.8—3.2	1.8—2.2	≤2.0	≤0.005	≤0.005
技术 条件	≤0.08	≤0.6	≤0.4	13—16	2.35—2.75	1.3—1.7	2.8—3.2	1.8—2.2	≤2.0	≤0.005	≤0.005

表1所列成分是根据Ф. Ф. Химушин在1964年和1969年所编著的《Жаропрочные стали и сплавы》一书和1965年出版的文献[3]中收集的。比较1965年和1964年的成分，其中铝含量提高0.05—0.15，钼的下限提高0.3，铁降低了1.0；而1969年与1965年相比，铝又提高了0.2—0.1，钛0.35—0.15，钼0.8—0.7，铌0.2—0.1，铁由3.0降低至2.0；另外，1964年和1965年所列成分中没有硼和铈。经过这样的成分调整后，性能也有了相应的提高：1965年时正常处理状态下20℃时的 $\sigma_b = 100$ 公斤/毫米²， $\sigma_{0.2} = 65$ 公斤/毫米²， $\delta = 15\%$ ， $\psi = 18\%$ ，750℃时的 $\sigma_{100} = 35$ 公斤/毫米²[3]；而1969年时的相应性能分别为 $\sigma_b = 115$ 公斤/毫米²（提高了15公斤/毫米²）， $\sigma_{0.2} = 72$ 公斤/毫米²（提高了7公斤/毫米²）， $\delta = 17\%$ ， $\psi = 19\%$ （也稍有提高）， $\sigma_{100} = 37$ 公斤/毫米²（提高了2公斤/毫米²）。

成分中硅≤0.6、锰≤0.4、铁≤2.0，这三个元素在采用双真空冶炼工艺时显然是过高的。据文献介绍和零件分析证实，合金显微组织中存在较多的Ti(CN)，故判断苏联ЭИ698ВД的母合金是由普通电弧炉冶炼的。硅、锰和铁的残留量过高与冶炼工艺和原材料有关，例如苏联的Fe-Nb成分(%)为Al 1.69—2.6、Nb 61—64、Si 10.8—11.3和Zr 2.2，经计算，Si、Fe大致符合合金的规定成分，并有残余Zr存在。

二、化学成分控制范围

苏联文献没有报导过ЭИ698合金主要化学元素的研究资料，但К. И. Терехов在“Основные предпосылки и особенности легирования жаропрочных дисковых сплавов на никелевой основе”(“镍基热强涡轮盘合金合金化的基本前提条件和特点”) [4]一文中给出ЭИ698ВД的成分(%) Cr—15、Ti—2.6、Al—1.6、Mo—3.0、Nb—2.0、 Σ Ti+Al+Nb=6.2; 另外, А. С. Клещев等在“Структурные изменения в высоколегированных жаропрочных никелевых сплавах при гомогенизации”(“扩散退火时高合金化镍基热强合金中的组织变化”) [5]一文中列出ЭИ698合金成分(%) C—0.07、Cr—14.4、Ti—2.6、Al—1.6、Mo—3.0、Nb—2.0。由此可见, 文献作者所列的成分是控制在成分范围的中上限。表2所列是另件分析成分。

表 2 零件化学成分, %

零件名称	C	Cr	Mo	Nb	Al	Ti	Mn	Si	Fe	Mg	Zr	Ce
I 级涡轮盘	0.054	14.0	3.09	1.95	1.58	2.68	—	—	—	0.001	<0.005	0.0013
II 涡轮盘	0.05	14.31	3.10	1.89	1.55	2.67	0.22	0.35	1.79	0.001	<0.005	—

由表2看出, 零件的成分控制范围Nb和Mo为上限, Al为中限偏上、Ti接近上限、 Σ Ti+Al+Nb=6.11—6.21。这个成分与文献所列成分一致。经验证明, 合金控制在这样一个成分范围内, 将有利于改善合金的中温塑性、缺口持久寿命和消除 γ' 不均匀性的分布。

三、微量元素

众所周知, 微量元素对高温合金的组织 and 性能有重大影响, 例如B、Ce、Zr、Mg和Ca等。由于ЭИ698合金的母合金采用普通电弧炉冶炼和采用的原材料Fe-Nb含有Zr, 因而在一些苏联文献中也提到了这方面的研究消息。表3列出了美、英、苏三国所生产的一些超合金中所含微量元素。

由表3看出, 美、英、苏三国生产的高温合金中都一致添加了B外, 苏联普遍加Ce, 而英、美普遍加Zr。表3中很少列出Mg的添加量, 但从国内外很多文献提到Mg对改善合金的工艺塑性和力学性能有显著作用。实践证明, 向ЭИ698合金中加入适量Mg(配合一定量的Zr)可使塑性得到显著改善。

文献[6]研究了B(0.005—0.011%)和C(0.05—0.12%)在150—1160℃范围内对ЭИ698合金机械性能和组织的影响, 文献[7、8、9]报导了在ЭИ698合金中添加Zr、C和ZrC的影响。文献[8a]用自射线照相法研究了碳、铈、锆和碳化锆在ЭИ698合金中的分布, 表明碳优先集中在树枝晶轴间, 树枝晶轴实际上不含碳; 铈优先分布在一次轴上, 它不影响碳在ЭИ698合金中的宏观分布, 但促使碳化物以更弥散的形式析出; 在含碳量高(0.12%)的ЭИ698合金中加入锆, 将导致加大碳的树枝晶偏析; 加入液态ЭИ698合金中的碳化锆可很好地被吸收, 并均匀地分布于合金中, 它可能未被溶解而是在液态合金中生成胶体溶液, 或者溶解后又以碳化锆形式重新析出。文献[9]指出, 向ЭИ698合金中加入 $\leq 2\%$ 的ZrC可提高室温