

铝合金半成品的 组织与性能

〔苏〕В.И.多巴特金等 主编

洪永先 谢继三等 译

李西铭 高云震 校

- 半成品的组织和性能的变化规律
- 板材和厚板
- 棒材及型材
- 管材和管材半成品
- 锻件和模锻件
- 线材

铝合金半成品的 组织与性能

〔苏〕 B.И.多巴特金 B.И.耶拉金 主编
Ф.В.图良金 E.И.希洛娃
洪永先 谢继三 等译
关学丰 韩秉诚
李西铭 高云震 校

冶金工业出版社

铝合金半成品的 组织与性能

[苏] В.И.多巴特金 В.И.耶拉金 主编
Ф.В.图良金 Е.И.希洛娃

洪永先 谢继三等译
关学丰 韩秉诚

李西铭 高云震 校

责任编辑 向培森

冶金工业出版社出版

(北京市灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 15 字数394千字

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷

印数00,001~4,500册

统一书号: 15062·4016 定价1.90元

提 要

本书是根据苏联冶金出版社 1974 年出版的 В.И.Добаткин 等著《СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ》一书翻译的。全书共分六篇，二十三章。

本书详细介绍了各种铝合金加工半成品——板材、厚板、棒材、型材、管材、锻件、模锻件和线材的组织、机械性能、某些物理性能和耐腐蚀性能，并论述了各种主要工艺因素对变形铝合金半成品的组织和性能的影响；对各种半成品在生产中所产生的主要缺陷的种类、危害、产生原因及其消除办法也作了必要的叙述。书中还收集了大量试验研究的图表和数据，是一本内容丰富、适用面很广的专业技术书。可供我国从事冶金、机械制造、航空、航天、造船、建筑、电气、仪表、轻工等各有关部门的工程技术、科研人员工作中使用，亦可供大、专院校有关专业师生参考。

为便于读者查对原文，将原书各章后的参考文献和作者译名对照表均集中附于书末。

参加本书翻译的有（按章节顺序）：张绍祥（第1、2章）；张云祥（第3、4章）；李景芳（第5章）；阎绪利、韩秉诚、关学丰（第6章）；刘万成（第7、8章）；丁树智、盛桂林、李绍善（第9、10章）；许其亮（11~14章）；张为民（第15、16章）；耿汉武（第17、18章）；谢继三（第19章）；关学丰（第20~23章）。

参加本书初校的有：谢继三、洪永先、韩秉诚、李绍善、于永棣、高革、杨敬生。

全书由李西铭副教授（第1~4、7~23章）和高云震高级工程师（第5~6章）总校。本书在译、校中得到了主笔高级工程师的指导和帮助，译者深表谢意。

前 言

《铝合金半成品的组织与性能》一书专门论述了铝及其合金加工半成品的组织和性能。

全书共分六篇。第一篇研究了各种工艺因素对变形铝合金的组织和性能影响的一般规律。了解这些规律，对弄清用这些铝合金制成的半成品在性能上的差异是很有必要的。

第二、三、四、五和六篇分别论述了轧制半成品（板材和厚板）、挤压半成品（棒材和型材）、管材、锻件和模锻件、线材（铆钉线和焊条线）的性能。

在本书的每一篇中，都介绍了苏联工业生产的有关半成品的品种，研究了各种组织特点、机械性能、某些使用性能和工艺性能与工艺参数的关系，并根据合金和半成品的不同用途，列举了各种半成品在性能、试验温度范围、最终热处理制度和取样方向等方面的区别。

本书除了第一篇外，还论述了该类制品所特有的主要缺陷。

本书第一篇由B.И.多巴特金和B.И.耶拉金审校，第二篇和第六篇由E.И.希洛娃审校，第三、四、五篇分别由B.И.耶拉金、B.И.多巴特金、和Φ.В.图良金审校。作者对Л.П.卢日尼科夫在评论本书时所作的宝贵评语和M.В.萨玛利娜为准备本书的出版所给予的巨大帮助表示感谢。

目 录

前言

第一篇 半成品的组织和性能的变化规律	1
第一章 铸锭质量对半成品的组织和性能的影响	3
第二章 在压力加工及随后加热时组织的形成	10
一、变形组织	13
二、显微组织	14
三、亚结构	16
四、变形组织在加热时的变化	21
第三章 形变热处理	29
一、高温形变热处理 (BTMO)	30
二、组织强化 挤压效应	33
三、低温形变热处理 (HTMO)	38
第四章 半成品性能的各向异性制品的高向性能	39
第二篇 板材和厚板	50
第五章 生产轧制半成品用的铝合金名称	50
一、合金名称和轧制品的供应状态	50
二、板材的规格和供应状态	51
三、厚板的规格和供应状态	51
四、带材的规格和供应状态	51
第六章 板材的组织 and 性能	64
一、工业纯铝	64
二、AMn 合金	72
三、Al-Mg 合金	79
四、Д16、Д19、BAД1 和 AK4-1 合金	96
五、B95 合金	136
六、1201 可焊合金	147
七、BAД23 合金	164
第七章 板材的缺陷	174

一、铸造带来的缺陷	174
二、铸锭的化学成分和组织带来的缺陷	180
三、热轧时产生的缺陷	181
四、冷轧时产生的缺陷	184
五、热处理缺陷	187
六、精整工序的缺陷和板材表面的机械损伤	188
七、腐蚀	189
第八章 热轧厚板的组织和性能	190
第三篇 棒材及型材	211
第九章 铝合金的名称及挤压半成品的种类	211
第十章 挤压半成品的组织和性能	215
一、工业纯铝	219
二、AMu合金	221
三、AMr1、AMr2、AMr3、AMr4、AMr5、AMr6合金	223
四、AД31、AД33、AД35和AB合金	229
五、Д1、Д16、BД17、M40、BAД1合金	245
六、Д20合金	265
七、AK6、AK8合金	268
八、AK4-1、AK4合金	270
九、B95、B96u、B93合金	273
十、BAД23合金	284
第十一章 挤压半成品的缺陷	296
一、铸造带来的缺陷	296
二、挤压产生的缺陷	299
三、热处理缺陷	303
第四篇 管材和管材半成品	306
第十二章 管材的名称、供应状态及品种	306
一、挤压管材	306
二、轧制管材和拉伸管材	308
三、异形管	308
第十三章 热挤压管材的组织和性能	311
一、技术条件规定的管材性能和组织	311

二、工艺参数对管材组织和性能的影响	312
三、制造热挤压管材时推荐采用的一些工艺参数	314
第十四章 冷挤压管材的组织 and 性能	315
一、冷挤压管材用的合金	316
二、管材品种	316
三、管材的组织 and 性能	317
第十五章 冷拔管和冷轧管的组织及性能	320
一、工业纯铝	320
二、AMu合金	323
三、AMr2、AMr3、AMr5、AMr6合金	328
四、AB和AД31合金	334
五、Д1、Д16、1915合金	338
第十六章 管材的缺陷	345
第五篇 锻件和模锻件	350
第十七章 生产锻件和模锻件的合金名称	350
第十八章 锻件和模锻件的组织 and 性能	359
一、模锻件和锻件的最低机械性能和典型机械性能	359
二、工艺因素的影响	370
三、设备类型的影响	384
四、热处理的影响	386
第十九章 锻件和模锻件的缺陷	389
一、铸造带来的缺陷	390
二、压力加工过程中产生的缺陷	402
三、热处理缺陷	411
第六篇 线材	418
第二十章 生产线材用的铝合金名称及线材品种	418
第二十一章 铆钉线材的组织 and 性能	419
一、热处理	420
二、线材和铆钉的机械性能	423
三、工艺因素对硬铝型合金铆钉线材性能的影响	425
四、铆接接头的机械性能	434
五、Д18、B65、Д19П、B94合金铆钉线材在高温下的机械性能	437

六、B94合金线材的组织 and 性能	441
七、铆钉的应用	444
第二十二章 线材的缺陷	445
一、铸造带来的缺陷	445
二、轧制产生的缺陷	447
三、挤压产生的缺陷	450
四、拉伸和热处理产生的缺陷	451
第二十三章 焊条线材	453
附录1 变形铝合金的化学成分	457
附录2 铝合金半成品的种类	460
作者译名对照表	461
参考文献	462

第一篇

半成品的组织和性能的变化规律

在很多金属学著作和论文中，特别是在《工业铝合金》^①一书中，都是根据化学成分和最终热处理制度来研究铝合金性能的。这种鉴定合金性能的方法在许多情况下足以满足要求，因为上述因素能够确定与合金性能有关的重要组织参数，其中包括主要合金组元在固溶体中的浓度，以及在热处理（退火或时效）时从固溶体中析出的相成分及其质点的大小。

同时大家还知道，用同一种合金所制造的各种变形半成品（板材、模锻件、型材等），经同样的最终热处理后，其机械性能和其他性能可能差别很大。这种差别是由于半成品的生产工艺所决定的那些组织特征引起的。例如，板材的生产工艺在很大程度上就不同于模锻件或型材的生产工艺。

由对变形半成品各个生产阶段的分析和比较得知，用同一种合金制造各种不同半成品时，其生产工艺的主要区别是：铸锭在热变形前的热处理（均匀化）制度和加热制度；变形温度；变形方式、变形程度和变形速度；各变形工序间的加热温度和总加热时间。

此外，还必须考虑到冶金的遗留因素（如金属纯度和铸锭组织）对半成品的组织和性能的影响。对于各种类型的制品，其熔

① 《工业铝合金》、Ф.И.科瓦索夫和И.Н.弗里德良捷尔主编，韩秉诚、蒋香泉等译，李西铭校，冶金工业出版社，1981年5月出版。——译者注

体的制备条件、铸锭的规格及其结晶参数都不可能相同，而它们在形成半成品的最终性能方面的作用却很大。某些不可逆的相变以及变形组织的自发恢复过程（由于塑性变形所产生的组织缺陷在其变形过程中以及在中间加热和最终热处理时所发生的消除或重新分布的过程），就取决于上面所列举的各种因素，并且在各种不同的变形半成品中将以不同的程度进行着。

所谓不可逆相变，首先应该理解为过渡族金属——锰、铬、钛、锆、钒、铁在铝中的过饱和固溶体的分解。

在铝合金半成品的生产过程中，加热和压力加工条件的不同，将导致半成品的组织在最终热处理后有明显的差异。这是由于变形时所产生的组织缺陷的消除过程进行的程度不同所致。例如，由同一种铝合金所制得的不同半成品的组织经同样的最终热处理之后，就可以从具有再结晶的粗晶组织（由于变形所引起的晶格缺陷得到完全消除）变化到具有明显变形组织的纤维状未再结晶组织。作为中间过渡组织，可以是再结晶的细晶组织、部分再结晶组织（具有不同数量的未再结晶晶粒）和未再结晶组织。在未再结晶组织中产生了多边形化，即形成了位错壁，它把变形晶粒分割成好些多边形或亚晶粒。

自然，由于生产工艺不同而形成这些不同的组织，也将引起半成品的机械性能及其他性能产生很大的差异。例如，Д16合金的半成品在淬火和自然时效后的抗拉强度，根据其生产工艺的不同就可以在41~42公斤力/毫米²到60~62公斤力/毫米²的范围内波动。有一些半成品在其三个互相垂直方向上的性能实际上是相同的，而另一些半成品，则各向性能、特别是塑性指标（ δ , ψ ）和耐蚀性能可能相差几倍。

• 下面研究铝合金变形半成品的组织和性能随其生产工艺特点而变化的某些一般规律。这些规律能帮助读者正确地理解板材、管材、挤压棒材和型材、模锻件和锻件以及许多其他半成品在性能上的巨大差异。

第一章 铸锭质量对半成品的组织和性能的影响^①

众所周知，铸锭加工时的变形程度愈低，铸锭的组织 and 性能对半成品性能的影响就愈大。使半成品的纵向性能实际上达到与铸锭的原始组织无关的变形程度，对不同成分的合金是不同的。合金的合金化程度愈高（即愈不均匀），这种变形程度也愈大。一般认为，对于硬铝和高合金化的合金，这种变形程度为85~90%（延伸系数为8~10）。当然，在变形程度较低的范围内，可以绘制出铸锭的性能与半成品性能的相关曲线，以便估计半成品的性能或者确定可能采用哪一种类型的铸锭。但是，对于大部分半成品来说，都是以大于90%的变形程度生产的。看来，对于这些半成品似乎可以不考虑铸锭遗留因素的影响。但实际上，由于铸锭的成分或其组织所引起的铸锭性能的某些差异，对于半成品加工时的任何变形程度都会表现出来，而且有时随着变形程度的提高，铸锭组织中某种因素的影响还会增大。例如，当铸锭中存在着疏松时，在锻造过程中就可能发展成为分层〔1〕。本章将简要说明在较高的变形程度时，铸锭质量的主要参数对半成品的组织和性能的影响。这些主要参数包括：合金成分的分散度（它不仅取决于合金的制备条件，而且还取决于铸锭凝固时的偏析程度）；疏松和非金属夹杂物；晶粒的大小和取向；枝晶网和第二相质点的大小；合金相组成的不平衡性。

当各熔次炉料的计算成分相同时，可以根据熔体取样成分的统计数据来判断合金因制备条件的不同所引起的成分的分散度。如果不计化学分析中的误差，则对于大多数合金组元，其成分的分散度在 $\pm(5\sim 8)\%$ （相对值）的范围之内。

① 作者：B.И.多巴特金。

在评定由于材料成分的波动所引起的半成品机械性能的分散度时，上面的数据还应补充由于区域偏析而引起的铸锭不同部位成分变化的数据。该值一般随着铸锭断面的增大稍有增加，对于铜、镁、锌等组元，其值为 $\pm(3\sim5)\%$ （相对值）。

合金中杂质含量的变化具有特殊的意义。金属杂质的实际含量主要是根据配料质量而变化（成倍地）。同时，杂质的含量，尤其是铁、硅杂质的含量，不仅对铸造和压力加工时的工艺性能有极大的影响，而且对半成品的最终性能也有极大的影响。杂质对表征合金结构强度的机械性能参数（ $a_{T,y}$ 、 a_K ）的影响尤为强烈（表1）。

表 1 Д16和AMr6合金挤压带材的机械性能

合金，半成品	杂质，% (按重量)		σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ	ψ	a_K	$a_{T,y}^{①}$
	Fe	Si	公斤力/毫米 ²		%		公斤力·米/厘米 ²	
Д16,断面为50×60 毫米的带材，纵向	0.01	0.01	56.4	40.1	14.0	14.1	3.67	3.22
	0.47	0.53	55.9	38.6	14.0	16.8	2.13	1.63
AMr6,断面为60× 80毫米的带材，横向	0.07	0.05	35.7	19.6	20.9	26.3	2.01	1.3
	0.47	0.52	34.0	20.1	13.8	15.7	0.9	0.5

① $a_{T,y}$ 为带裂纹试样的单位功。——校者

因此，要特别注意配料成分的稳定性。对于那些对冲击韧性值有规定或者对结构强度有特殊要求的半成品，应当采用对金属杂质有严格限制的相应牌号的合金。

至于非金属杂质，特别是气体杂质，由于它们在铸锭中能发展成为疏松，在半成品中使金属变成不连续以及能形成硬的非金属夹杂物，因而它们对半成品的性能有很大的影响。

熔体中的氢含量对铸锭中的疏松有决定性的影响。但是，当氢含量相同时，随着铸锭冷却速度的不同，产生疏松的程度也不同。疏松随着铸锭断面积的增大而增加，尤其是在以风来代替水冷

却铸锭时表现得更为严重。细小的氧化夹杂也能促进铸锭中氢气的偏聚和铸锭疏松的发展。疏松和氧化膜都会使金属在变形时产生分层。分层是铝合金半成品中最普遍的缺陷之一。在锻件、模锻件和厚板中经常可以遇到分层缺陷。在宏观磨片上，分层沿流纹方向呈细线条状显示出来（图1,a），而在断口上则呈光滑的片状（图1,б）。在用超声波检查半成品时，分层也能显现出来。

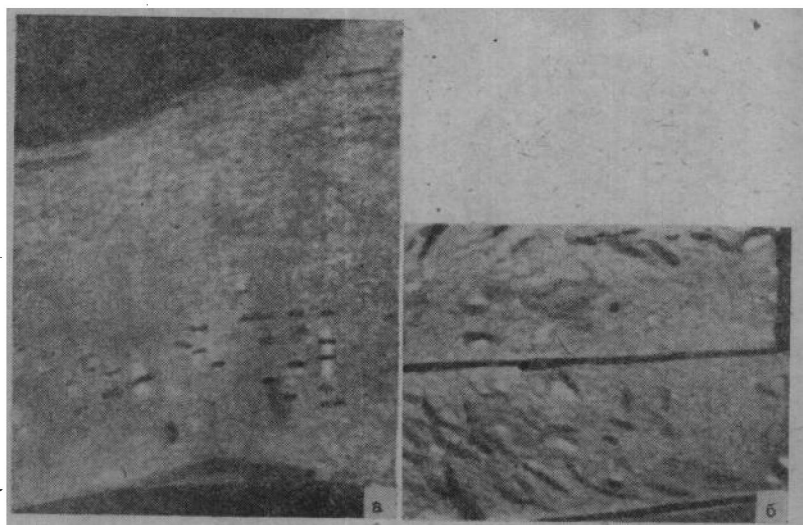


图 1 AK8合金模锻件中的分层

a—宏观磨片，б—断口

在测定试样的机械性能时，制品性能沿厚度方向恶化的程度取决于分层在横断面上所占的比例。如果分层的面积等于试样的断面积时，则其性能将降低到零。在这种情况下，高强度合金的伸长率实际上常常是降低到零，而抗拉强度随着分层特点的不同将具有不同的值。在检查时，有时发现有这样一种大块分层，它实际上是一种带有连皮或连桥的复杂组织，正是这种连皮或连桥使试样还能保持一部分强度。如果分层只占有试样面积的一部分，则试样性能降低的程度就由该处相应的面积（即与分层组织

相结合的面积) 来确定 (表 2, 图 2)。

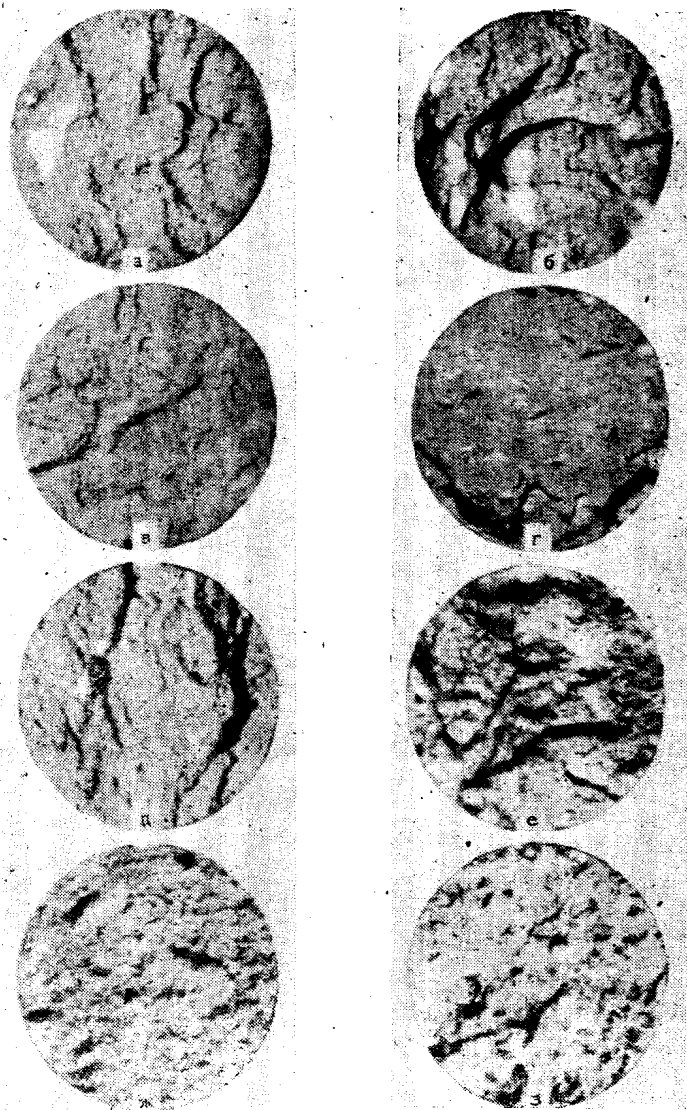


图 2 各种铝合金断裂试样的断口组织
(对照表 2)

表 2 铝合金大型锻件的高向机械性能的变化与分层面积的关系

合 金	图 号	分层在试样断面上所占面积的比例, %	σ_b 公斤力/ 毫米 ²	δ %	ψ %	氢含量 (整个锻件的平均值) 厘米 ³ / 100克金属
AK8	—	0	40.1	2.3	3.0	—
	2, a	5.36	33.4	0.8	—	0.40
	2, б	20.00	26.9	0.2	—	—
AK6	—	0	38.0	7.2	10.6	—
	2, в	4.09	34.4	3.0	5.0	0.40
	2, г	10.89	30.1	1.8	3.6	—
AMr6	—	0	32.3	12.7	15.2	—
	2, д	3.47	27.3	4.9	7.0	0.55
	2, е	88.20	15.1	1.0	—	—
B93	—	0	50.5	2.2	4.0	—
	2, ж	0.55	49.7	1.2	2.3	0.21
	2, з	2.52	48.6	0.5	1.6	—

注: 试样的直径为10毫米。

消除分层的最有效办法是在从静置炉向结晶器转注时, 对熔体进行真空处理或在流槽中用气体进行精炼, 以降低合金中的氢含量。

增加压力加工时的变形程度, 在多数情况下 (挤压除外) 都会促使分层的发展。在所有的压力加工因素中, 凡能提高变形的均匀性和降低变形的速度的因素, 都能减少形成分层的机率; 也有人建议用降低变形温度的办法来减少分层的形成。

铸锭宏观组织的影响首先表现在其压力加工的过程中。晶粒的粗化能降低铸锭在自由锻造和轧制时承受大变形的能力。合金中所存在的羽毛状晶组织对铸锭性能的影响特别强烈 (图3)。存在羽毛状晶组织的高合金化的合金铸锭, 实际上不能进行锻造。因为铸锭很容易被锻裂, 并在羽毛状晶的双晶面处产生裂纹。

半成品如保持为未再结晶组织, 而坯料也没有发生中间再结晶, 则其最终性能将随铸锭晶粒的大小及所存在的柱状晶区或羽毛状晶组织发生明显的变化。在这种情况下, 性能的遗留因素

(如可铆接性、生成所谓“橙皮”等)在变形程度远远超过90%时仍被保留。考虑到具有未再结晶组织的半成品的生产量相当大,而且未再结晶制品在总产量中所占比例也不断增加,因此,在生产铝合金铸锭时,力求获得等轴的细晶组织是合理的。

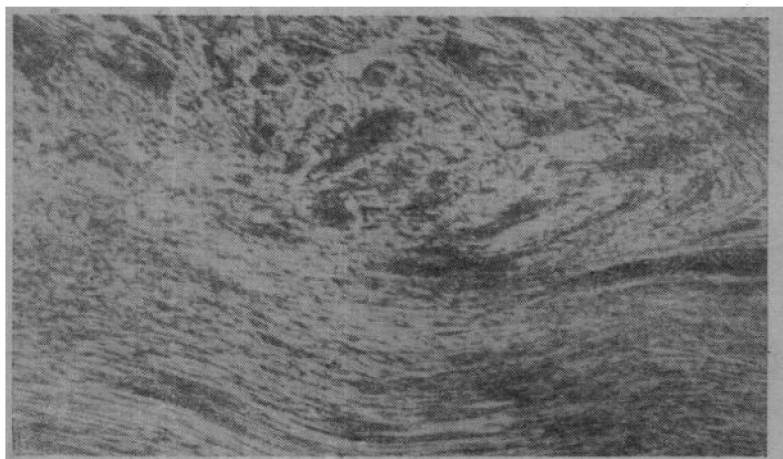


图 3 锻件中羽毛状晶组织区的裂纹

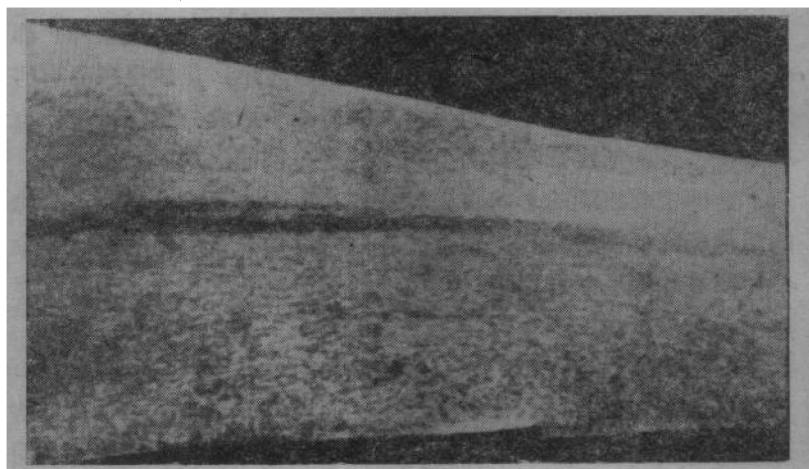


图 4 含有金属间化合物的AK4-1合金模锻件