

金相试剂手册



冶金工业出版社

54.15/5073
375
0.2

金相試剂手册

B. C. 柯瓦连科 著

李春志、郑运荣、曹翰香 译

李云盛 校

3k609/15

冶金工业出版社

本手册包括 245 种供研究或检验金属及合金的低倍和显微组织用的金相浸蚀剂。介绍了有关试剂的组分和应用特点，并对用于同一目的的各种试剂作了比较。

本手册可供工厂金相试验室、科学研究机构和院校从事金相工作的人员使用，对电子显微镜、X射线显微探针及金属材料 and 金属物理方面的研究人员和大学生也有参考意义。

**В. С. КОВАЛЕНКО
МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ РЕАКТИВЫ
СПРАВОЧНИК**

**Издательство «Металлургия»
Москва 1970**

金 相 试 剂 手 册

**В.С.柯瓦連科 著
李春志、郑运荣、曹翰香 译
李 云 盛 校**

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

开本小 32 印张 4 1/8, 字数 39 千字
1973 年 6 月第一版 1973 年 6 月第一次印刷
印数 00,001~55,700 册
统一书号: 15062·3058、定价(科四) 0.36 元

毛主席语录

……一切外国的东西，如同我们对食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

譯 者 序

近几十年来研究金属和合金组织结构的方法均有显著的改进，但其主要方法仍是金相检验法。金相学是一门实践性很强的学科，随着生产的日益发展，所用材料的种类繁多，金相研究的内容也越来越广。金相工作者迫切需要解决的问题之一，就是根据所需的目迅速可靠地选择合适的浸蚀剂，以便清晰地各种组织显示出来。

目前采用金相法能成功地解决下述一系列问题：各种相组成物的形态、金属中相的分布、晶粒取向、低倍缺陷和非金属夹杂物的分布、铸锭各区的枝晶形态及某些元素的偏析；热处理所引起的各种相变、断口类型及位错结构等等。

金相学初期所用的浸蚀剂主要用于显现金属和合金的一般组织而目前广泛采用的某些浸蚀剂或者对某种相发生选择性浸蚀，或者使某种相着上颜色，从而有效地区分各相。这种方法对成分和组织复杂的合金的研究是颇为适用的。

本手册收集了 245 种较常用的金相浸蚀剂，对各试剂的配制、使用方法和应用范围均做了介绍。读者可根据合金的种类在书后的索引中查出所需要的试剂。

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，我们把本书翻译过来，供我国金相工作者参考。书中介绍的试剂是他人工作中用过的，我们要在自己的工作中收到良好的效果，就需要通过自己的工作实践不断总结经验。另外，对于从事新材料研究工作的人员来说，书中二百多种试剂远不能满足工作的需要，还要根据自己的需要去创新。还应特别指出，书中还

II

介绍了用剧毒物质配制的浸蚀剂，使用时应持慎重态度。

由于我们专业和外文水平所限，译文中可能有缺点错误，请读者批评指正。

1973年1月

目 录

译者序

化学浸蚀剂1

索引111

人名索引118

参考文献119

30583

化学浸蚀剂

No. 1

硝酸酒精溶液

配制时建议只使用化学纯的酸。根据金属的本性和状态以及试剂的浓度，浸蚀持续时间可由几秒钟到几分钟。为了减缓浸蚀，其溶剂可采用戊醇或甘油。

最佳的溶液的浓度应为0.5~6%。对这种试剂很早就有过介绍[1]，但至今在实际金相研究工作中仍是最广泛采用的试剂之一。这种试剂能清晰地显现各种状态的碳钢、低合金钢以及普通铸铁和铁合金的显微组织。

该试剂能浸蚀低碳钢中的铁素体晶界，几秒钟短时浸蚀时，能清晰地显现三次渗碳体，同时能区分渗碳体与铁素体，浸蚀反差非常大。在几秒钟内采用多次反复浸蚀抛光可以显现出铁素体某些晶粒或其部分的取向和铁素体的浸蚀图象。

这种试剂能显现热处理钢中的珠光体、索氏体等组织，不能浸蚀碳化物，但可以显现高速钢和高锰钢中的碳化物相和奥氏体晶界。该试剂可用来研究变压器钢和不锈钢的浸蚀图象以及显现铝及锰含量高的非磁性钢的普通组织。

浸蚀淬火的碳钢时，建议采用戊醇作溶剂[88]，此时奥氏体被着成淡黄色，索氏体和屈氏体为棕色而不浸蚀马氏体。为了确定奥氏体和马氏体间之差别，可采用甘油代替酒精。

该试剂广泛地用来浸蚀钢的各种镀层，镀锌层和镀锡层等，以及研究渗氮、渗碳等化学热处理后的表层组织时也可

采用。经 20~30 秒浸蚀后可使褐锰矿和氮化铁 (Fe_4N) 着色。

浸蚀铸铁时能清晰地显现金属基体的组织而磷化物共晶体不浸蚀。硅铸铁建议采用 2 % 的戊醇硝酸溶液。为了区分磷化物共晶体中的渗碳体和磷化物，磨片应该先用 3 % 乙醇硝酸溶液轻微浸蚀 10~15 秒钟，然后迅速地加热到 250~350°C (在 3~5 分钟内) 并快速地置于水银槽中冷却。结果磷化物所着的颜色比渗碳体更黑。区分铁-铬-碳合金中的碳化物相时，用 2 % 的溶液浸蚀后建议将磨片放入 520°C 的炉中保温 25 分钟，然后将磨片置于金属板上冷却。结果奥氏体分解产物着成灰蓝色，斜方碳化物 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ 着成砖色，三角碳化物 $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ 保持光亮。暗黑的渗碳体与光亮的碳化铬有明显的不同[4]。

白铸铁经两次浸蚀可以显现出共晶渗碳体和二次渗碳体间的边界[28]。这种试剂能清晰地显现出许多有色金属和合金的一般组织，包括锡、铋、铅及锡-铅、锡-锌、锡-镉和巴比特等类型的合金。此时含大量锡的基体发黑，而金属间析出物则保持光亮。2~5 % 的溶液同时可以用来显现砷、铋、钨、镁、铈、镧和其他金属。大多数情况下，可以显现阿尔尼铁镍铝合金、阿尔尼柯铁镍铝钴合金、安柯铝镍钴合金的低倍组织以及这些合金铸态和热处理状态的组织[154]。但磨片最好用甲醇和丙酮清洗。

3~10 % 硝酸酒精溶液用于浸蚀硅铁、镍铁、铝铁及其他铁合金。在这种情况下，浸蚀持续时间应增加到几分钟。

浓硝酸能对比地浸蚀镍及其合金[88]。经预热的硝酸在 2~3 分钟内能显现鈹合金的组织。在用浓硝酸浸蚀因康镍合金时，建议在 100 毫升硝酸中添加 1 毫升氢氟酸。

2~6%的硝酸酒精溶液在国内和国外的文献中有时叫做尼达尔 (Nital)。

No. 2

硝酸水溶液

10~25%的水溶液广泛用于显现碳钢和合金钢的低倍组织。大的表面应在冷态用棉团进行浸蚀或浸入腐蚀3~30分钟,然后仔细地清洗。这种试剂能很好地显现由于铸造、焊接、表面热处理等所引起的不均性以及裂纹和气泡等类型的缺陷。

10~50%的溶液用于浸蚀铜及其合金——黄铜和青铜的低倍和显微组织磨片。根据溶液的浓度浸蚀时间可由几秒钟到几分钟。图象的对比度随浓度的下降而降低。

在两相黄铜中, α 相不浸蚀, $\alpha\beta$ 相变黑。该试剂能显现出铸造青铜枝晶组织的清晰的图象。为了消除共析组织的变暗,浸蚀后应用浸沾氨水和过氧化氢的棉团擦拭。

对于铜及其合金的浮雕浸蚀,建议交替浸蚀20~30秒钟,同时要抛光磨片。

浸蚀Al-Mg、Al-Si、Al-Cu-Ni、Al-Cu-Mn、Al-Mg-Si、Al-Cu-Mg等类型铝合金时,应将磨片浸入加热到70°C的浓度不高(10~25%)的溶液中10~40秒钟,然后迅速地置于冷水中冷却。浸蚀结果使 CuAl_2 、 Ni_3Al_3 、 Mg_2Si 变黑,而 FeAl_3 为紫红色。如果浸蚀2~3秒钟,则Cu-Al合金中的 CuAl_2 相着成由浅蓝色到棕色[88]。其余的金属间化合物通常保持光亮。

该试剂可用于浸蚀镁合金和铅的显微和低倍组织[88]。镁合金应在冷态于1~5%溶液中浸蚀5~20秒钟。10~30%溶液加热到50~80°C时可做为浸蚀钢上的铜和镍镀层显微组

织用的试剂，浸蚀时间为几秒钟。同时也适用于浸蚀与 MoC-Co 和 C-Co 烧结的合金的组织，浸蚀时间为几分钟。浸蚀 15~40 分钟可以显现出阿尔尼柯铁镍铝钴合金、安柯铝镍钴合金、阿尔尼铁镍铝合金的枝晶组织 [154]。采用 3 % 的硝酸水溶液可以显现 Mo-Zr 型合金的显微组织，浸蚀时间为 3~5 分钟而锆的氧化物不浸蚀。

采用 10 % 硝酸水溶液显现铁素体中的滑移线和浸蚀图象受到了注意。浸蚀时间为 5~8 分钟，随后在水中仔细洗涤。为了避免腐蚀坏组织可以采用等量酒精稀释的 5 % 的硝酸水溶液。此时，在 40~50°C 溶液中浸蚀的时间为 1~3 分钟。

在 20~25 % 溶液中的深浸蚀用于显现二次渗碳体以便可在显微镜下直接观察 [173]。经浸蚀的表面上铺放上湿润的黑纸并压紧，此后相对纸的位置将试样来回移动 1~2 毫米。浸蚀时间与基体组织有关，珠光体为 40~60 分钟，马氏体为 60~80 分钟。

No. 3

盐酸水溶液

浸入溶液中浸蚀 1 到 10 分钟，然后清洗磨片并烘干。同时可以用水稀释到 500 毫升并通入弱电流进行浸蚀。对镁合金和铸字合金浸蚀时间可缩短。

该试剂能清晰地显现锌合金、铜合金、铅合金、锡合金、铋合金等的组织。镁合金推荐用 2 % 的溶液。根据浸蚀的持续时间，浸蚀结果会使基体——固溶体变暗， Mg_4Al_3 和 Mg_2Cu 由白色变为浅蓝色和玫瑰色， $Mg_2Cu_3Al_2$ 变灰 [5]。

持续浸蚀时浓酸能显示镍及其一系列镍基合金的组织 [88]。

加热到 60~80°C 的 50 % 溶液用于浸蚀钢的低倍组

织[88]。浸蚀持续时间为15~60分钟，如果采用未经稀释的工业酸，时间可缩短。浸蚀后低倍磨片必须置于热苏打中进行中和，清洗并烘干。为了提高对比度用柔软的橡皮擦拭所需表面更为有益。

浸蚀后低倍磨片上形成浮雕表面并具有明显的枝晶（铸钢）、偏析部位及各种破坏金属完整性的缺陷（如裂纹和白点）。这种试剂主要是用于碳素结构钢、合金结构钢及工具钢。也可用来浸蚀某些铝合金（例如铝-镁-锌合金）。

2%的溶液可用于显现钢中的非金属夹杂[73]。将所用试样浸蚀15~20秒钟，然后即可在显微镜下以很小的倍数（5~8倍）观察。所以能观察到夹杂的存在是由于在夹杂的周围出现了金属的被浸蚀的部分，这是由于酸和硫的相互作用所形成的，除钛的氮化物和碳化物外硫能进入所有的夹杂中。当有马氏体组织存在时可以保证得到最佳的结果。

在盐酸中的深浸蚀可以用于显现二次渗碳体以备直接观察[173]。浸蚀规范参看№2试剂。

No. 4

盐酸..... 2~50 毫升

乙醇..... 至 100 毫升

2~5%盐酸乙醇溶液可以用于浸蚀锌、锡、铋、镉、锑合金以及巴比特合金以显现其显微组织。

这种试剂亦适用于焊料。浸蚀持续时间由几秒钟到几分钟。浸蚀后可以显现出铸造合金的组织及镀层、浸蚀图象和滑移线存在情况。在镁合金中首先浸蚀基体（固溶体）及夹杂（金属间化合物型的如 Mg_4Al_3 和 Mg_2Cu ）。在纯金属中可浸蚀其晶界，同时也用来确定铝合金中有否锡质点的存在。10~50%盐酸乙醇溶液曾被推荐[88]用于浸蚀碳钢、硅钢、铬

钢、镍钢、不锈钢和其它钢种。对在氧化气氛(空气)中加热退火的奥氏体钢可以浸蚀其晶界;用于淬火钢时可以显现马氏体针。奥氏体的着色比铁素体更黑。浸蚀钢时可以将试剂加热到70~80°C。浸蚀时间为几分钟。为了延缓浸蚀可以减少酸的数量或用等量的戊醇代替乙醇。

50%的盐酸乙醇加热溶液与中间抛光配合可以用来浸蚀碳钢和锰钢的初生组织同时亦可用于铬及铬合金。显现镍铁钼合金中的位错时建议采用30%的盐酸乙醇溶液〔3〕。在10%盐酸乙醇溶液中浸蚀5~30秒钟可以显现镁锌金属间化合物中的位错组织〔2〕。

No. 5

苦味酸.....3~5克

乙醇.....至100毫升

该试剂推荐用于显现钢和铸铁的一般组织〔88〕。冷态下可用任何方法进行浸蚀,浸蚀时间取决于合金的本性及状态,可浸蚀几分钟。减少酸量或采用等量的戊醇代替乙醇均可达到延缓浸蚀的目的,在许多情况下允许以水代替乙醇。

浸蚀后铁素体、渗碳体和奥氏体保持光亮。淬火钢中的马氏体着成由淡黄色到棕色色调(取决于金属中碳的含量)。采用该试剂保证能得到可对比的精细的组织图象,这对在高倍下进行研究是重要的。

采用该试剂在冷态浸蚀2~5小时可以显现碳钢中的一般偏析不均性。2%苦味酸甲醇溶液可用于发现磷的偏析,它使富磷的部位首先着色。基本组分的热溶液中添加8~10滴盐酸后可用于浸蚀低倍组织〔88〕。

这种试剂亦可用来显现铸铁中的共晶晶粒〔26〕以及铅、锡、锑、铋、镁等合金〔88〕和其他有色金属的显微组织。铝

合金经10~20分钟浸蚀后,其中 CuAl_2 相变暗,而其余的组分不浸蚀。

显现铁和钢的镀锌层的显微组织时,建议采用下述组分的溶液[12]:

苦味酸.....	0.07~0.30克
乙 醇.....	10~20毫升
蒸馏水.....	50~60毫升

浸蚀和抛光交替进行数次,直到显现出组织为止。浸蚀时间由几秒钟到两分钟。溶液应保持新鲜。基体金属用一般试剂浸蚀。为了保存磨片的侧表面建议用漆把侧表面涂盖上。

按上述规范浸蚀时 Fe_5Zn_2 着成柠檬黄色, FeZn_1 为浅紫白色,而 FeZn_3 为棕色。

No. 6

乙 醚.....	200 毫升
苦味酸.....	25克
蒸馏水.....	100 毫升

该试剂用于显现经过回火脆性处理的各种钢韧性和脆性状态的差别[13]并且可以腐蚀奥氏体原始晶粒的晶界。

制备溶液时,先将水和乙醚混合在一起,然后加上苦味酸。混合溶液在封闭的罐中很好加以摇动并静置24小时。磨片须浸蚀5分钟,然后用5%纤维素丙酮溶液处理。形成的硬壳经5~15分钟便脱开。当用乙醇处理时纤维素薄膜产生固化并且能更好地剥落。

显现铁合金中奥氏体晶粒时,建议在浸蚀前将磨片加热到300~650°C并保温8~12小时。这种脆化处理可以提高奥氏体晶界的可浸蚀性。

显现经过回火脆性处理的低合金钢的奥氏体晶界时建议采用由1体积的苦味酸饱和水溶液和3体积的单丁基乙二醇醚混合的溶液[165]。

No. 7

冷饱和苦味酸水溶液

该试剂被推荐用来浸蚀碳钢和合金钢的低倍和显微组织[88]。

制备溶液时，把结晶的苦味酸溶于轻微加热的水中，到冷却后沉淀出苦味酸止。显微浸蚀时间由1分钟到10~15分钟。如果出现薄膜，则必须轻微抛光2~3秒钟。浸蚀后屈氏体变黑而马氏体和奥氏体着成不同颜色。铁素体和渗碳体不浸蚀。浸蚀较好的钢种有：锰钢、硅钢、铬钢、铬钼钢、铬镍钼钢及奥氏体镍钢，而马氏体镍钢和铬镍钢浸蚀的较弱。

加热到50°C的苦味酸饱和水溶液能显现可逆回火脆性状态的钢的奥氏体晶界以及500~550°C回火后碳钢的晶界[150]。

低倍浸蚀在6~8小时内分几次进行，磨片用水流冲洗并烘干。然后用细砂纸轻微擦拭磨片表面并重新置于刚配制好的新鲜溶液中浸蚀。该操作反复进行到取得清晰的低倍组织为止。

这种试剂能显现铸造、焊接、锻造、表面处理等所造成的低倍不均性并且可用于碳钢和许多的合金钢方面。浸蚀4分钟可以显现纯铁中的位错[143]。

No. 8

1. 4%苦味酸乙醇溶液

2. 4%硝酸乙醇溶液

该试剂可用来确定淬火钢中的组织组分[88]。首先将磨

片在溶液 1 中浸蚀 2 秒钟，再在溶液 2 中浸蚀 10 秒钟。此时索氏体和屈氏体着成棕色，马氏体浅蓝色，奥氏体橙黄色。清晰地显现出碳偏析严重的钢中屈氏体的不均性（按浸蚀后的着色强度）。在上述研究工作中还可以采用 2 % 硝酸和苦味酸的混合溶液。

当增加浸蚀时间时，哈德菲尔得 (Hadfield) 钢首先应在溶液 2 中浸蚀 15~20 秒钟，然后在溶液 1 中加热浸蚀 2~5 分钟；此时奥氏体具有灰色，铁素体不浸蚀而碳化物变黑。只容许用空气吹干磨片。溶液 2 中的乙醇可以用等量的戊醇代替。

溶液 1 和 2 按 10 : 1 混合后能显现渗氮层和渗碳层的组织和深度、渗氮钢中的共析组织和氮化物针。按等比例混合的溶液可以用来显现纯铁中的位错 [143]。

为了明显的区分灰口铸铁中的珠光体和磷化物共晶体建议采用下述组分的溶液：

4 % 苦味酸水溶液.....	78 毫升
硝 酸.....	2 毫升
蒸馏水.....	20 毫升

浸蚀时间为几秒钟。

当用酒精代替水时，浸蚀 2~5 分钟便能显现出低碳钢和灰口铸铁中铁素体晶粒取向和铁素体的浸蚀图。

显现铁中的位错时，建议首先在 1 % 硝酸酒精溶液中浸蚀 1 分钟，在甲醇中清洗后再将磨片浸入 0.5 % 苦味酸甲醇溶液中 5 分钟。

No. 9

间硝基苯磺酸.....	5 毫升
乙 醇.....	95 毫升

该试剂用来浸蚀淬火合金钢，此时马氏体比奥氏体的着色更暗[88]。

浸蚀在常温下的新鲜溶液中进行15~30秒钟。乙醇可以用等量的戊醇代替。

这种试剂用于显现白口铸铁的组织及冷硬铸铁中的过渡区。

No. 10

1. 4%硝酸醋酸酐溶液.....10毫升
2. 戊醇.....10毫升
- 乙醇.....10毫升
- 甲醇.....10毫升

该试剂用于浸蚀淬火锅。屈氏体和屈氏-索氏体着色成暗棕色；马氏体和奥氏体不浸蚀。采用这种试剂浸蚀在一定程度上可以显现含锰和铬的退火钢中珠光体的不均性[88]。

试剂在使用前直接配制，由3份溶液2和1份溶液1组成。浸蚀时间由20秒钟到几分钟。

这种试剂还可以用来显现锌、锌合金及一系列其他有色金属的显微组织。

No. 11

1. 4%硝酸醋酸酐溶液.....30毫升
2. 甲醇.....20毫升
- 戊醇.....20毫升
- 丁醇.....10毫升
- 乙醇.....20毫升

该试剂与试剂No.10相似，可用来显现热处理钢中的屈氏体和索氏体[88]。

浸蚀时用由3份溶液1和7份溶液2组成的新鲜溶液，浸蚀时间为几分钟。