



金屬的腐蝕与保护学基础

I. B. 阿基莫夫著
曹 楚 南 譯



本書系根据苏联黑色与有色冶金科技書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии)出版的苏联科学院通訊院士、功勛科学家和机械工程师阿基莫夫(Г. В. Акимов)所著“金屬的腐蝕与保护学基础”(Основы учения о коррозии и защите металлов) 1946年版譯出的。

書中以現代電化學的觀點敘述了金屬腐蝕的理論，并描述了腐蝕試驗与研究的方法、金屬与合金的腐蝕行为和主要的保护方法。本書第一、二、三、四諸章着重理論上的討論，第五、六、七章則分別敘述了研究与試驗方法、保护方法、金屬的腐蝕行为等实际資料，第三章和第四章是本書的精華，其中許多重要观点和理論就是根据作者本人及其學生們的工作撰写的，而且还列出了許多便于直觀教學的實驗例子。因此，本書使人既可以建立有关金屬腐蝕現代理論观点，又可以初步了解實踐中各种比較重要的問題。

原書經苏联前人民委員會議高等教育委員會审定为高等学校冶金和机械制造等專業的教材。本書也可供工厂實驗室和研究所工作人員作为基本讀物，高等学校物理化学專業作为参考用書。

金屬的腐蝕与保护学基础

Г. В. 阿基莫夫著

曹楚南譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內感恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第054号)

京華印書局印裝 新华書店發行

統一書号 15010.735 開本 850 × 1168 1/32 印張 15 1/16

字數 404,000 印數 0001—5,500 定價 (7) 洋 2.10

1959年5月第1版 1959年5月北京第1次印刷

序

金屬的腐蝕与保护学在不久以前才形成实用知識的独立領域。这个領域的产生与發展需要金屬学与电化学的交互作用。就这个意义而言，它介于这两門科学之間。所以某些学者把我們的学科看作是金屬学(化学金相学)的特殊部分，另一些学者則視之为实用电化学的独特的篇章。

腐蝕学以金屬与外部介質的相互作用，或換言之，以金屬和合金的化学稳定性作为自己的对象。而且它有自己的实践任务：防止金屬腐蝕，即防止金屬在介質(各式各样的金屬制件——机器、仪器、建筑物、运输工具等等——使用时所接触到的介質)作用下的毀坏。

如同所有其他科学一样，金屬的腐蝕与保护学乃是由于人类的实际需要而产生的。由于形式繁复的金屬的大量积累，提出了保护这些人类文化生活中的基本工业資料的任务。

金屬腐蝕現象乃是極其复杂的。只有在深刻而全面地研究了所發生的过程的本質以后，才可能合理地防止腐蝕。

在現代，腐蝕学正在快速地發展。許多陈旧的概念已被摒弃，新的观念日益發展。当然，我們还远不能完全解决实践中提出来的全部問題。

自然，在苏联金屬的腐蝕与保护学的發展，是和国家的工业化相一致的。新工厂的建立、全套工业部門(例如机器制造工业、化学工业、航空工业等等)的重新創設，都需要大量金屬。同时也就产生了保护我国鋼鐵材料免于过早的毀坏、即免于腐蝕的要求。

我国全部国民經济的社会主义性質，使得在金屬的防护方面可以实施許多規模宏大的国家措施。特別是，在一些高等学校的教学大綱

中已經把金屬的腐蝕与保护学列为独立的科目。应当指出，在西欧和美国还没有这种課程。在外国也没有一本有关金屬腐蝕的教材。伊文思的卓越的著作^①，帶有詳細專論的性質，或更正确地說，帶有統一在总的題目与观念下的許多專論的性質。

在写这本书时，作者除了注意到使本书在很大程度上可以用作高等学校的教科書外，同时还企圖創立与科学現况相适应的課程。在現今内容扩充了的課程中也顧及了工厂与研究机构的實驗室的需要。

尽管这門科学很年青，近三十年来积累起来的实际資料却很浩瀚。杂志上有关金屬腐蝕与保护的文章数达几千。当然，本书既不以全書或手册自居，就不必須也不可能囊括全部材料。作者只限于討論最重要的和最有实际价值的問題。

按照作者的意見，教科書或“基础”，应该能够使讀者掌握科学上的重要指导思想，学会了解复杂的腐蝕現象，并能在具体条件下根据这种了解正确地拟訂保护的技术措施。

本书的理論部分大半是根据了作者及其学生們的工作而写成的。其中有一些还未曾發表过。特别是有关伊文思極化曲綫方法的發展方面。我們認為，如果只要指出了所述原理的討論性質就没有什么危險的話，在許多情况下把完全新的、尚未获得广泛承認的观点收入書中是可以的。本书的任务使本书不能不帶有一定的教条主义。当然，过分严格与詳尽的結論需要大量篇幅，并将使得本书作为教科書的应用發生困难。書中塞滿了这种原始工作的文献与作者的索引未必合适。最重要而容易懂得的文献列在每章的后面。我們在这些文献表中只列出最少量的原始文献。讀者可以在包含历史簡述的章节中，以及从正文中若干处(誠然，很少的几处)提到的地方，从文献表，最后，还有从圖表

^① 按此处系指 U. R. Evans 所著之“Metallic Corrosion, Passivity and Protection”，即本書緒論中提到的“金屬的腐蝕、鈍性与保护”一書——譯者注。

中去熟悉那些腐蝕學領域中最杰出的研究者的名字。在書末給出了腐蝕學方面最著名的書籍與參考資料的目錄，並且列出了有關腐蝕的期刊文獻的說明^①。

我們從比較簡單的化學腐蝕（包括氣體腐蝕）現象開始（第一章與第二章）。電化學腐蝕理論所占的篇幅最多。全部理論材料分布在兩大章中：理論基礎（第三章）和腐蝕的動力學與分布問題（第四章）。當然，這樣的劃分在很大程度上是相對的。單獨的一章用在非常重要的、關於試驗方法的問題上（第五章）。最後兩章用於實際問題——金屬的保護（第六章），它們的抗蝕性與特殊的耐腐蝕合金（第七章）。

但是許多從實用觀點看來極重要的問題，往往分插在書中的理論部分中（例如，第四章中的雜散電流的腐蝕，腐蝕疲勞等等）。

在本書中，全部腐蝕問題是從動力學的觀點來探討的。腐蝕學中的重要任務，並非在於指出某一腐蝕過程的熱力學上的可能性或不可能性，而是在於找出腐蝕過程在給定條件下的真實速度。

作為教材講來，這本書在冶金、機械製造、化學等高等學校中都可使用。視課程的性質為轉移，可以略去某些章節。最基本的課程由緒論，第一章—§ 1 和 2，第二章—§ 1、4、5、6、7、8，第三章—§ 1、3、4，第六章和第七章組成。

本書與以 M. И. 卡里寧命名的莫斯科有色金屬與黃金學院的金相、金屬腐蝕與保護專業的教學大綱很相符合。學習腐蝕課程需要預先具備冶金工作者所應有的金屬學方面的知識和通曉電化學原理。

本書，作者寫作了很多年。第一、第二、第五這三章的大量材料與第三章的大部分，是在戰前就已準備好的。但是本書基本上是在戰爭時期寫成與修改的。戰爭在金屬的腐蝕與保護學的領域中提出了一系列新的問題。需要比較快速而便宜的保護方法。關於稀缺材料的代用

① 但原書末尾并未附有此处所講的資料，恐系原書付印時脫漏——譯者注。

品的問題也更加緊張得多。最后，在許多場合下还必須正确地解决有关快速試驗的問題。我們力求在本書中也在某些程度上闡明這些問題。

假如沒有作者在全蘇航空材料研究所的金屬物理實驗室和在莫斯科有色金屬研究所的腐蝕研究室同 H. Д. 托馬曉夫、Г. Б. 克拉克、B. П. 巴特拉可夫、B. A. 弗魯則維奇、A. B. 妥尔科夫斯卡雅、И. A. 羅津費里德和 A. И. 高魯勃夫等合作的多年研究工作，本書將不能產生。許多腐蝕理論的一般性問題在實驗室的創造性的討論中變得明確了。許多問題則在實驗工作進程的商榷中被揭露出來。作者謹向自己的學生和合作者們致以深深的謝意，他們是本書創作的參與者。

Г. Б. 阿基莫夫

莫斯科，1943年12月

目 录

序	iii
緒論	1
§ 1. 腐蝕的定义	1
§ 2. 腐蝕的分类	3
§ 3. 历史概述 · 国民經济与防腐	12
第一章 化学腐蝕	18
§ 1. 保护膜的概念	18
§ 2. 有保护膜时化学腐蝕的机理	20
§ 3. 保护膜的成長	25
§ 4. 保护膜的厚度	31
§ 5. 薄膜和中间厚度膜的分离	39
§ 6. 保护膜的晶体結構	41
§ 7. 保护膜的超显微結構	44
§ 8. 保护膜中的应力 · 保护膜的破坏	47
§ 9. 离子与电子穿过膜运动的假說	50
§ 10. 液体燃料中的腐蝕	55
第二章 气体腐蝕	58
§ 1. 气体腐蝕	58
§ 2. 金属在高温下的氧化	59
§ 3. 气体腐蝕的基本类型	62
§ 4. 气体腐蝕的定量表示 · 气体腐蝕的試驗方法	65
§ 5. 鉄和鋼的气体腐蝕	71
§ 6. 鋼的組成与气体腐蝕 · 耐热鋼	80
§ 7. 銅和銅合金的气体腐蝕	91
§ 8. 气体腐蝕的防护	100
第三章 电化学腐蝕的理論基础	109
§ 1. 微原电池的概念	109
§ 2. 从金属状态理論和电解質溶液理論推得的某些結論	114
§ 3. 腐蝕过程的历程	119
§ 4. 極化	126
§ 5. 可逆的和不可逆的电极电位	132

§ 6. 电极电位产生的机理	134
§ 7. 第 1 类和第 2 类不可逆电极电位	140
§ 8. 工作阳极和工作阴极的电位	152
§ 9. 工作电极间电位的变化	16
§ 10. 复杂电极的电位	173
§ 11. 固溶体的电位	184
§ 12. 二次过程与腐蚀产物膜的形成	192
§ 13. 以氢去极化的电化学电偶	196
§ 14. 以氧去极化的电化学电偶	205
§ 15. 微电池理论	218
§ 16. 差异充气电化学电偶	221
§ 17. 水膜下的腐蚀过程与大气腐蚀	224
第四章 腐蚀的速度与分布	235
§ 1. 溶液本质的影响	235
§ 2. 外部条件的影响	243
§ 3. 周期系和金属的化学稳定性	249
§ 4. 内应力和变形的影响	252
§ 5. 腐蚀疲劳	255
§ 6. 合金的组织与化学稳定性	259
§ 7. 腐蚀 时间曲线	268
§ 8. 钝性	270
§ 9. 多电极系统·晶间腐蚀理论	277
第五章 腐蚀试验与研究的方法	294
§ 1. 方法的分类	294
§ 2. 抗蚀性的评定系统	310
§ 3. 实验室方法	313
§ 4. 电化学方法	327
§ 5. 现场试验与实物试验方法	342
第六章 保护方法	349
§ 1. 保护方法的分类	349
§ 2. 金属的化学组成·热处理及表面机械加工的选择	351
§ 3. 选择合理的结构	352
§ 4. 腐蚀介质的处理	358
§ 5. 阳极保护	355
§ 6. 金属镀层	359
§ 7. 非金属(有机)涂层	369
§ 8. 非金属(无机)涂层	376
§ 9. 非金属膜	377

§ 10. 保护方法的选择	382
第七章 金属材料化学稳定性	385
§ 1. 铁和钢的化学稳定性	385
§ 2. 硅铁耐酸合金	395
§ 3. 不锈钢	398
§ 4. 铝合金的化学稳定性	422
§ 5. 镁合金的化学稳定性	441
§ 6. 锌和镉的化学稳定性	445
§ 7. 铅和锡的化学稳定性	450
§ 8. 铜和铜合金的腐蚀	463
§ 9. 镍及镍合金的化学稳定性	473
§ 10. 贵金属的化学稳定性	479
附录	482
名詞对照表	487
人名对照表	490

緒 論

§ 1. 腐蝕的定義

可以給腐蝕下个定义：金屬和合金由于外部介質的化学（或电化）作用而产生的破坏称之为腐蝕。

金屬的腐蝕破坏具有下列特点：

1. 破坏总是从金屬的表面开始，然后或快或慢地往里面深入。
2. 随着破坏的同时，常常（虽然并非永远）發生金屬表面的外形变化。首先，在金屬上常常發現不規則形状的凹洞、斑点、“潰瘍”等等的破坏区域。其次，被毀坏的金屬轉变为化合物（通常是氧化物或氢氧化物）以后，形成腐蝕产物；这种腐蝕产物部分地附着在金屬的表面上。例如，大家都知道，生了锈的（遭受过腐蝕的）鉄表面和原先的、光滑的鉄表面大不相同。但是，我們以后会看到，也有为肉眼簡單观察所不能發覺出来的各种类型的腐蝕存在。

應該把腐蝕与磨蝕——金屬表面的机械性破坏——区别清楚。

磨蝕的典型例子是机器的摩擦零件的磨損。金屬的普通研磨过程可以作为磨蝕的另外一个例子。

术语“腐蝕”应用于两种不同的意义。第一，这个术语用来表示腐蝕破坏的过程。例如說：生锈乃是鉄腐蝕的情形之一。第二，在描述腐蝕过程的結果时采用术语“腐蝕”。例如，如果指的是零件已遭受了强烈的腐蝕，即它們的表面已被强烈地破坏，并且具备了相应的“生了锈的”形状，通常就表示为“这个或那个零件（例如鉄管）的强烈腐蝕”。

假如要表示給定材料对腐蝕作用的关系，那末就說抗蝕性大或小；除了这个术语外，还有化学稳定性（或化学安定性），也使用于同样的意

义。

我們以后可以看到，給定材料的抗蝕性，不仅可以采用适当的形容詞(強烈的、微弱的、適中的)或通過描述腐蝕样品或制件在給定時間以后的外形及性能來定性地表示，並且還可以定量地表示。腐蝕或抗蝕性的定量表示，就是直接或間接地測定在腐蝕期間內，即在某種腐蝕劑作用的期間內，被毀壞了的金屬的數量。

腐蝕、抗蝕性這些概念不可能有絕對的意義，這是非常重要的情況。在某些條件下耐腐蝕的金屬，可能在別的條件下不耐腐蝕。例如，銅在普通的水中是十分穩定的金屬，但在氨溶液中完全不耐腐蝕；18-8型不銹鋼在潮濕的空氣中、在硝酸中和在其他許多試劑中，具有很好的化學穩定性，但在鹽酸溶液中則毀壞得很快，尤其是在溫度較高時更甚。

所以，抗蝕性的定量或定性的估價，只具有相對的意義，並只有在應用於一定的腐蝕條件時起作用。當然，假如金屬在各種各樣的介質組成、溫度等等條件下都是穩定的，則也可以一般地來談論化學穩定性。但是即使在這里也應該估計到可能會有某些條件，在這些條件下，金屬也許不能抵抗腐蝕介質的作用。

甚至象鉑這種在腐蝕方面最穩定的貴金屬，在某些介質中，例如在王水、即 $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ 的混合酸中，終究也是不穩定的。

與上述相關的，活性的和鈍性的概念也有相對性。同一種金屬在某些條件下可能是活性的，即遭受着介質的腐蝕作用，而在別的條件下卻是鈍性的，即不活潑的。例如鉻在鹽酸或硫酸的稀溶液中是活性的和很易溶解的，而在含氧化劑的介質中，例如在硝酸溶液中，就很快地成為鈍性的狀態。

如果金屬在給定組成的介質中和給定條件下，實際上長時期地不發生變化，我們就稱這種金屬的狀態為鈍性狀態或完全鈍性狀態。一般講來，這種狀態是十分稀少的。通常，介質對金屬的作用縱使很慢，

畢竟还是發生的。

金屬的完全活性状态可以用它的最大活性的状态来表征；对于給定的金屬而言，在各种各样的腐蝕作用条件下，这种最大活性状态一般是可能遇到的。在完全鈍性状态和完全活性状态之間，有很多的中間状态。虽然，我們以后会看到，从鈍性状态轉变为活性状态及其相反的过程經常飞跃地發生，而并不停頓在中間状态。

所以，應該把腐蝕看作是介質与金屬相互作用的結果。腐蝕过程發生在金屬-介質的界面上，因而，它們應該屬於异相化学(或电化学)反应，也就是發生在两个相的界面上的反应。大家知道，这种反应跟普通的均相反应比較起来，具有一系列的特点；在均相反应时，化学变化乃是在参与作用的試剂的整体中展开的。大家也知道，异相反应的机理是复杂的，并且常常只有在考虑了許多作用因素，对过程作了詳細的研究以后，才可能把反应机构揭露出来。

在本节結束时，我們指出，“腐蝕”这一术语有时也应用于非金屬材料，例如，水泥、玻璃、甚至木材等等。

§ 2. 腐蝕的分类

全部腐蝕現象首先可以分成两大类：

1. 化学腐蝕。
2. 电化学腐蝕。

我們只把下述各种过程列入后一类：在这些过程中，随着金屬毀坏的同时發生电子的轉移，即有电流从金屬的一部分流到另一部分。在許多場合下，电流的存在可以直接地或間接地用适当的实验方法檢查出来。

当电解質溶液、即导电的溶液——含有离子的溶液——对金屬作用时，發生电化学腐蝕。

以后我們會詳細地討論在电化学腐蝕时电流产生的机理。还要补

充一点：大多数普通的、同时在实际中也是最重要的、与每个人都有关系的腐蝕过程，例如鉄的生锈、鋁器皿的腐蝕、金屬在酸中的溶解等等，乃是屬於第二种类型的腐蝕，即电化学腐蝕。在化学腐蝕时不产生电流；它們多半是金屬同外部介質中这种或那种試剂相互化学作用的反应。在干燥气体或非电解質液体对金屬作用时，出現化学腐蝕。許多有机物質和溶在有机溶剂中的无机物質溶液就是非电解質液体。

極其重要的一种气体腐蝕現象，也屬於化学腐蝕一类。这种腐蝕現象包括各种气体在高溫时对金屬化学作用的情形。

有时，不經專門的研究，很难把某一种腐蝕过程归之于一定的类别。例如：鉄在水蒸汽中的电化学腐蝕，在高溫时轉变为化学的气体腐蝕，并且要想指出前后这两种腐蝕之間的界限是很困难的。此地“高溫”的概念也是相对的；对于不同的金屬和不同的介質，同一个溫度可能在这个場合下被看作是低溫，而在另一場合下被看作是高溫。例如，对于普通的半成品形状(板、棒)的鉄講来，在空气中大約从400—500°C开始强烈的气体腐蝕，而象自燃鉄(很細的粉末形状的鉄)跟空气接触时，在室溫下就已經燃燒起来。

上面已經講到过，电化学腐蝕出現于电解質溶液、多半即盐、酸和鹼的水溶液对金屬作用的时候。

在大气腐蝕的場合下，电解液在金屬上形成薄的水膜，而正就是这种液体膜对金屬作用时發生腐蝕。根据許多理由，这种腐蝕与通常的情形，即金屬沉浸在电解液中的情形不同。

所以电化学腐蝕又分成兩組：金屬沉浸在液体中的腐蝕和在液膜下的腐蝕(大气腐蝕)。后面一种类型的腐蝕有时也被称为湿气腐蝕。

我們把我們的初步分类表示成表1的形式。

以后我們將根据对腐蝕过程的机理的逐步揭露，而繼續进行分类。上面所进行的分类是关于腐蝕过程的本身的，沒有涉及腐蝕的結果。

按照腐蝕破坏特征所作的腐蝕結果的分类，純粹是根据外部征象。

从实用观点看来, 在討論腐蝕破坏的类型以及估計腐蝕的結果时, 最重要的是須查明: 1) 总的表面上哪些部分受到腐蝕破坏, 2) 遭受

表 1. 腐蝕的初步分类

組別	类别	化学腐蝕	电 化 学 腐 蝕
		1	在液相中腐蝕
2	气 体 腐 蝕	大气腐蝕或湿气腐蝕	

腐蝕的区域的深度是否均匀。若被毁坏掉的金属的数量相同, 則金属表面上腐蝕分布愈不均匀, 零件或构件在其以后的使用中毁坏的危险性愈大。事实上, 在不均匀腐蝕的情况下, 破坏只集中在整个表面的若干部分, 所以它們就比較深, 因而材料强度——它决定于最脆弱的地方——的损失就愈大。

也應該注意这种情况, 即零件截面任何剧烈的改变会在这些地方引起应力的集中(切口效应), 而这是对許多重要的机械性質(抗击强度、耐疲劳强度、可塑性)特別不利的。

面积有限而深刻的腐蝕破坏部分, 正好为产生切口效应創造了条件, 并且强烈地使工作零件中的应力分布不良, 以致引起它們在使用时过早地损坏。

腐蝕破坏可以分类如下:

1. **全面腐蝕** 腐蝕均匀地分布在全部表面上。例如, 鉄在露天下腐蝕的許多情形即属于这一类型; 在这种場合下, 鉄的零件或构件的表面被均匀的鉄锈層复盖。当除去腐蝕产物以后, 在腐蝕前本是光滑的金属表面, 原来已变成了粗糙的表面。粗糙程度的大小决定于腐蝕进行多久和在什么条件

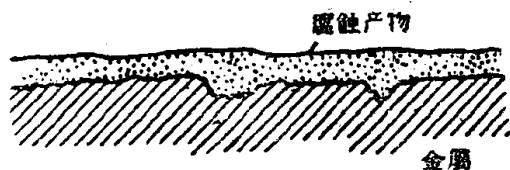


圖 1. 均匀腐蝕(剖面)。

下进行。在既長久又很强烈的腐蝕情況下，表面常常好象是“挖掘过的”，即除了比較細小的伤害以外还有比較深的伤害(圖 1)。强化学試劑，例如酸，对金屬作用时的許多情形，也屬於全面腐蝕。此时腐蝕产物通常并不留在金屬上，而金屬表面則成为酸洗过的形状。当然，在酸作用时也可能出現屬於別的类型腐蝕，例如，局部腐蝕破坏的情形。

全面腐蝕的例子举在圖 2—4 上。

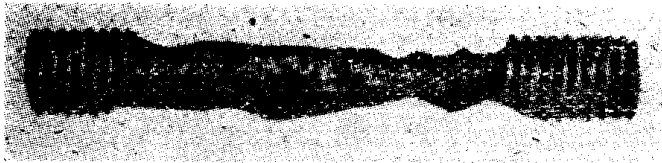


圖 2. 在海洋条件下遭受强烈腐蝕的鋼装配螺栓。均匀腐蝕。

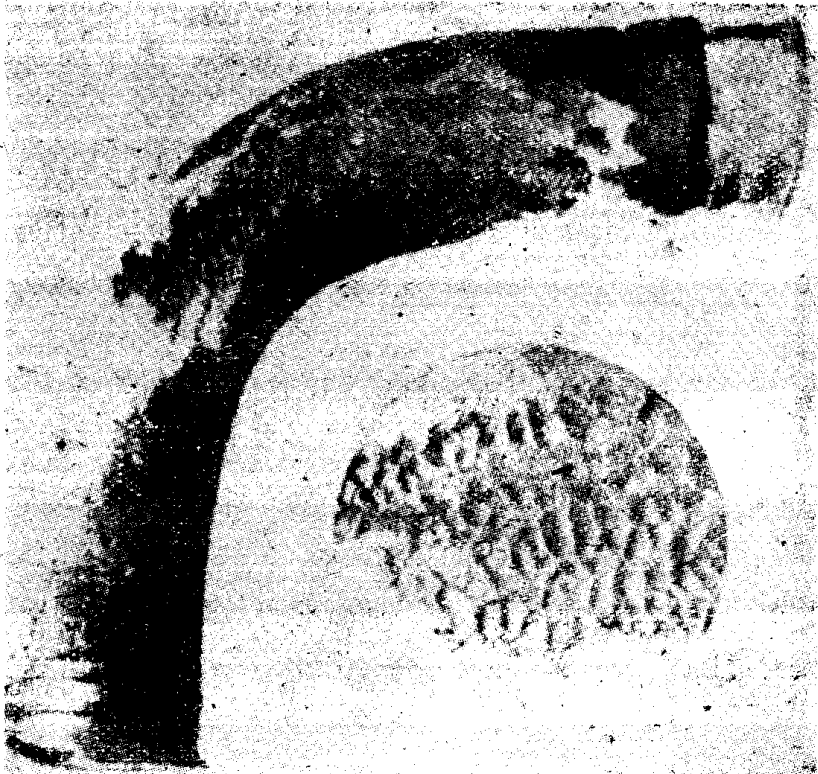


圖 3. 遭受强烈腐蝕的冷却系統的鐵管。圓形是管子的一部分的放大相片。

2. 局部腐蝕或斑狀腐蝕 由腐蝕所引起的破坏, 并不占全部表面;

还剩下或大或小的、沒有發生过腐蝕的金屬表面部分。腐蝕区呈不規則狀的斑狀, 散布在腐蝕表面上(參看圖 5 和 6)。在描述局部腐蝕的情形時, 很重要的是要注明: 腐蝕斑痕約占整个表面的多少部分; 因为这可以給出有关腐蝕集中程度的概念。局部伤害的深度也是評定腐蝕破坏程度的重要內容。

这里可以遇到两种基本的形式(圖 7)。形式 *a* 表明腐蝕斑痕在剖面上的深度几乎处处相同。形式 *b* 相

当于腐蝕斑痕的深度基本上是均匀的, 但带有个别的、深得多的部分。形式 *a* 在腐蝕發展時往往轉变成形式 *b*。显然, 形式 *b* 比形式 *a* 的危險性更大。

3. 假如腐蝕斑痕只是出現在比較有限的表面上, 然而很深, 則就将这种形式的破坏分出来成为单独的类型, 称之为**劈釘**^①或**腐蝕潰瘍**(圖 8—10)。由通过腐蝕潰瘍的剖面可以看到, 腐蝕潰瘍是相当深的, 有时是穿透性的、带有銳利棱角邊緣的凹洞(圖 11, *a*)。可是, 有时它的

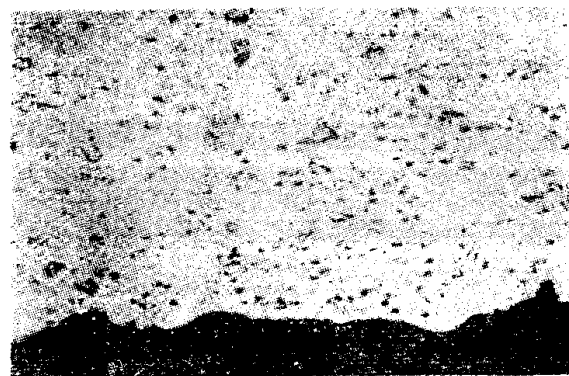
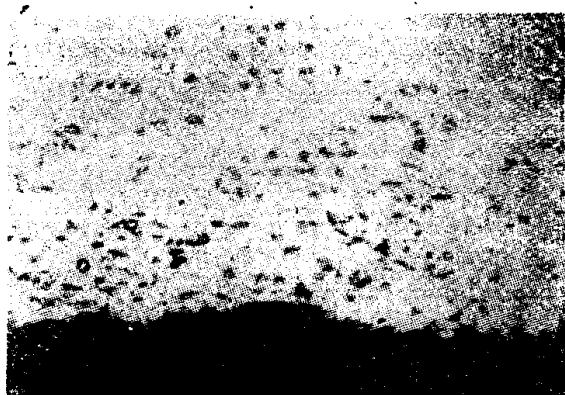


圖 4. 鋁合金的均匀腐蝕。橫斷磨片×100。

① 相当于英語 Pitting。在俄文中, 因为沒有專門的術語, 常常使用“劈釘”(Питтин)一詞。

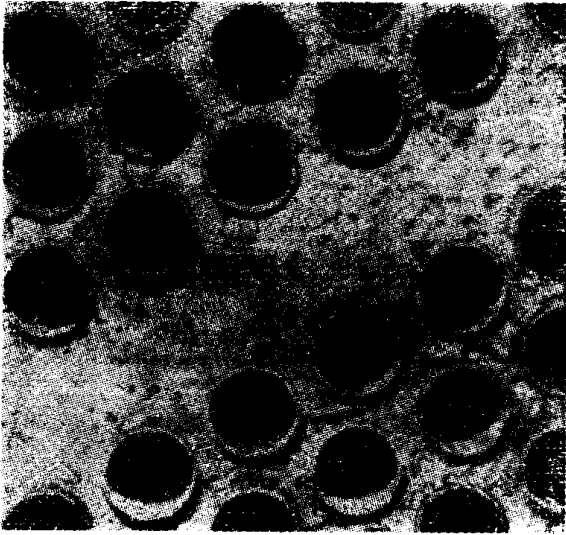


圖 5. 冷凝器的鐵壁的局部腐蝕。



圖 6. 海水對黃銅作用時所引起的局部腐蝕。

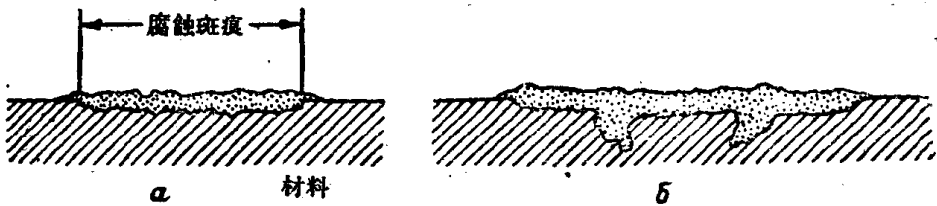


圖 7. 局部腐蝕(剖面)。

邊緣也并不一定棱角分明，特別是如果潰瘍點位在腐蝕斑痕區域以內的話(圖 11, 6)。至於腐蝕破壞所佔據的面積和深度方面，前面對於腐蝕斑痕所講的各點，在此地也完全適用。在腐蝕潰瘍的情況下，金屬破壞的真正大小，多半只有在小心地除去腐蝕產物以後才暴露出來，這些腐蝕產物常常填滿了腐蝕潰瘍而隱蔽了它的深度。圖 12 a 表示 Al-Cu-Mg 合金板上通過劈釘的橫剖面，圖 12 b 是工業用的鋁板上兩個并列在一起的不深的劈釘。

4. 有時受到腐蝕傷害的區域縮小到“點”的大小，即，縮小到徑長