

高等學校教學用書



銅 鎳 冶 金 學

上 冊

B. II. 斯米爾諾夫 著
胡爲柏 傅崇說 譯
黃培雲 陳展猷

本書係根據蘇聯國立黑色及有色冶金科學技術書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии) 出版的斯米爾諾夫(В. И. Смирнов) 著“銅鎳冶金學”(Металлургия меди и никели) 1950 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等學校冶金系教學參考書。

本書中譯本分上下兩冊出版, 上冊為煉銅, 下冊為煉鎳。

參加本書翻譯工作的為中南礦冶學院胡為柏(序言、緒論及第一章)、傅崇說(第二、三、四章)、黃培雲(第五、六章)、及陳展猷(第七、八章)。

本書原由商務印書館出版, 自 1955 年 2 月起改由本社出版。

銅 鎳 冶 金 學

上 冊

書號158(課152)

斯 米 爾 諾 夫 著

胡 為 柏 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 琉 璃 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

京 華 印 書 局 印 刷

北 京 南 新 華 街 甲 三 七 號

開本850×1092—1/28 印張15.67 字數 354,000

一九五五年二月北京第一版 印數1—1,500

一九五五年二月北京第一次印刷 定價¥ 24.000

上 册 目 錄

序言	1
----------	---

第一部 煉 銅 學

緒 論

1. 銅的歷史和統計資料	1
2. 銅業在蘇聯領土上的發展	3
3. 俄國和蘇聯冶金學家在煉銅方面的工作	4
4. 含銅礦物和銅礦	12
5. 從銅礦中提煉銅的方法・銅礦中有價值成分的綜合利用	16

第一篇 火法煉銅

第一章 火法煉銅的理論基礎

1. 銅及其化合物	18
2. 鐵化合物及其反應	28
3. 鐵的氧化物與金屬氧化物和硫化物的化學作用	31
4. 火法煉銅的基本原理和方法	34
5. 煉銅爐渣	39
6. 熔煉銅礦及精礦所產爐渣中的銅	51
7. 冰銅	57

第二章 硫化礦和精礦的焙燒

1. 焙燒過程的理論基礎	67
各種金屬化合物之間的交互作用	
2. 氧化焙燒的實踐	84
銅礦及銅精礦焙燒方法的發展簡史 焙燒爐的構造 焙燒爐作業法的近代化實踐 焙燒爐的化學冶金控制 焙燒爐尺寸的決定 焙燒的技術經濟指	

標 氧化焙燒方面的新觀念

3. 銅礦及銅精礦的燒結焙燒 103

第三章 銅礦和銅精礦的反射熔煉法

1. 熔煉的一般特性 108
2. 反射熔煉的理論基礎 109
- 反射熔煉時的化學變化和交互作用 配合應用的吹爐爐渣的化學變化和交互作用 反射熔煉時的脫硫作用 反射熔煉時的造渣和冰銅形成的過程 反射熔煉的熱性質
3. 反射熔煉的實踐 121
- 反射熔煉的發展簡史 近代反射爐的構造 反射爐的加熱法 生料和熔燒料的熔煉・裝料法 反射爐作業時的照應 反射爐的生產率及熔煉的控制 物料平衡及熱平衡 反射爐尺寸的決定 反射熔煉的技術經濟指標
4. 反射熔煉的優點和缺點・反射熔煉方面的新觀念 146
- 反射熔煉的各種方式 銅礦和銅精礦的電爐熔煉

第四章 銅礦的鼓風爐熔煉法

1. 鼓風熔煉的一般特性及其不同方式 157
2. 銅礦鼓風熔煉的理論基礎 159
- 銅礦的還原熔煉 純自熱熔煉 半自熱熔煉 改良自熱熔煉
3. 銅礦鼓風熔煉的實踐 201
- 鼓風爐發展簡史 近代鼓風爐的構造 熔煉前爐料的準備 鼓風爐開爐 鼓風爐的鼓風狀況 鼓風爐熔煉的燃料 鼓風爐的照應, 作業故障・停爐 提高鼓風爐生產率的方法 鼓風熔煉的產物 鼓風熔煉的技術控制 鼓風熔煉的物料平衡和熱平衡 鼓風熔煉的技術經濟指標 鼓風爐尺寸的決定 鼓風熔煉的優點及缺點 鼓風熔煉方面的新觀念

第五章 吹煉冰銅成粗銅

1. 冰銅吹煉過程的一般特性 234
2. 冰銅吹煉過程的理論基礎 235
- 吹煉過程的熱化學 冰銅吹煉時各種硫化物及氧化物的行為 吹爐成渣過

程和吹爐爐渣成分

3. 冰銅吹煉的實踐 249
 冰銅吹煉的發展簡史 近代轉爐之構造及尺寸 吹爐的準備及操作 吹煉
 法過程中的故障 吹煉的物料平衡與熱平衡 特殊吹煉法 冰銅吹煉的產
 物及其處理法 吹煉過程的控制 吹爐尺寸的決定 冰銅吹煉的技術經濟
 指標 冰銅吹煉方面的新觀念

第六章 銅的火精煉·銅的性質及雜質影響

1. 銅火精煉的目的及其過程的一般特性 281
2. 銅火精煉過程的理論基礎 282
 粗銅中雜質的形式及其氧化的機構 粗銅火精煉的雜質除去的次序與程度
 熔化陰極銅成銅錠過程的理論實質 銅火精煉爐渣
3. 銅火精煉的實踐 293
 銅火精煉的發展簡史 銅火精煉爐的構造和尺寸 精煉爐的加熱法 關於
 銅火精煉作業的敘述 精煉銅的澆鑄法 銅火精煉產物的成分 銅火精煉
 的物料平衡和熱平衡 銅火精煉的技術經濟指標 銅火精煉方面的新觀念
4. 銅的性質及雜質的影響 316
 銅的物理與化學性質 雜質對銅性質的影響 銅的分類及全蘇標準

第二篇 銅的水冶和電冶

第七章 銅的電解精煉

1. 銅電解精煉過程的一般特性 324
2. 銅電解精煉的理論基礎 325
 銅電解時的電極反應過程 銅電解時各種雜質的行為 在淨液槽中使銅從
 廢電解質中電積析出 銅電解精煉時陰極沉澱物的構造
3. 銅電解精煉的實踐 336
 銅電解精煉法的發展簡史 銅精煉電解槽的構造和尺寸 陽極和陰極 電
 解質及其成分、溫度和循環流通 電解槽中的電位降和電流密度 電解質
 的淨化和再用 複聯電解法和串聯電解法的比較 銅電解精煉的物料平衡
 和技術經濟指標 銅電解精煉方面的新觀念

4. 陽極泥及其處理	364
5. 處理銅陽極泥時砷和碲的提取	372

第八章 銅的水冶

1. 水冶法提銅電一般特性	377
2. 水冶法提銅的理論基礎	379
溶解作用的物理因素及浸出作用的機構 溶劑對各種銅礦物和銅化合物的 化學作用 工業用溶劑的一般特性 金屬從溶液中沉澱析出的基本理論 用鐵（用置換沉澱法）使銅從溶液中沉澱析出的物理化學條件 硫化礦氣 化焙燒法的物理化學原理	
3. 水冶法提銅的實踐	404
銅水冶法的發展簡史 銅礦浸出的主要方法 供銅浸出和銅沉積用的器械 用硫酸浸出法從氧化銅礦提銅 用氨溶液浸出法從氧化銅礦和自然銅礦提 銅 用就地浸出法及堆疊浸出法從硫化礦提銅 水冶法提銅的技術經濟指 標 水冶銅工業在蘇聯的發展遠景	

人名地名廠名對照表

下 冊 目 錄

第二部 煉 鎳 學

第九章 鎳及其化合物概論

1. 歷史資料及統計資料	431
2. 蘇聯鎳工業之發展	434
3. 俄國及蘇聯冶金學者在鎳冶金方面之工作	435
4. 含鎳礦物及鎳礦石	440
5. 鎳之化合物及其性質	443
6. 金屬鎳，其性質及其分類	460

第十章 氧化鎳礦之冶金

1. 處理氧化鎳礦的冶金方法之一般特性	464
2. 處理氧化礦成金屬鎳的過程之理論基礎及實踐	466
礦石之燒結 燒結礦之鼓風熔煉成銻 鎳銻之吹煉 鎳高銻之焙燒 氧化 亞鎳之還原成金屬鎳 火法冶金處理氧化礦成金屬鎳之一般技術經濟指標	
3. 熔煉氧化礦成含鎳生鐵及鐵鎳合金	493
4. 在迴轉爐內直接還原氧化礦成鐵鎳鍛塊之方法	495
5. 氧化礦之水洗	501
6. 在氧化鎳礦冶金方面之新觀念	503

第十一章 硫化銅鎳礦之冶金

1. 處理硫化銅鎳礦冶金過程之一般特性	505
2. 冶金處理硫化礦與精礦成銅鎳高銻過程之理論基礎及實踐	507
銅鎳礦之自熱熔煉 銅鎳礦與精礦之反射爐熔煉 銅鎳礦與精礦之電爐 熔煉 銅鎳銻之吹煉 處理硫化礦與精礦成銅鎳高銻之一般技術經濟指標	
3. 銅鎳高銻冶金處理過程之理論基礎及實踐	523
分離熔煉法 磁選基法 水洗處理高銻渣(希比涅特法) 處理高銻成鎳	

合金(蒙乃爾金屬)	
4. 鎳之電解精煉	542
5. 硫化鎳礦在冶金方面之新觀念	551
參考書刊	558

銅 鎳 冶 金 學

第一部 煉 銅 學

緒 論

1. 銅的歷史和統計資料

銅是屬於所謂“史前金屬”，紀元前數千年人類就已知道銅。“青銅”時代最通用的合金就是青銅，用它來製作自衛的工具和家常器皿。可以推測，純銅比青銅應用得更早，但是由於純銅的缺點（特別是硬度不夠、鑄造品質不好等），因而後來就使用青銅。

古代大量煉銅是在塞浦路斯島進行的，因而拉丁字的銅是Cuprum，就是以塞浦路斯地名來命名的。

羅馬帝國時代，銅業得到巨大的發展。羅馬人曾開採西班牙、日耳曼及其他國家的銅礦。例如有名的里約-丁多（Рио-Тинто）銅礦在紀元前 100 年已經開採。

中世紀時銅礦的開採，主要在歐洲各國：日耳曼、西班牙，以及較晚的英國及俄國。十八世紀初期美洲開始採銅，但一直到十九世紀後半期還未得到很大的發展。

在十七、十八或十九世紀，歐洲是銅的主要供給地，十九世紀末葉，美國開始開發巨大的銅礦，從此以後，美國的煉銅業很快地增長起來。

最近四十年來，由於新礦區的開發，智利、非洲、加拿大和蘇聯興起了許多新的銅工業中心

按照現有的統計資料，各國在 1913—1946 年這段時期產銅情況如表 1。

表 1. 全世界產銅量(不包括蘇聯)(以千噸為單位)

國 家	年 度								
	1913	1927	1929	1932	1936	1938	1940	1944	1946
非 洲.....	25.4	112.0	156.5	140.8	246.9	258.7	355.0	386.1	無數據
加拿大.....	34.6	64.1	109.9	113.7	186.1	268.3	370.0	222.7	152.6
智 利.....	40.2	239.7	316.8	103.2	256.0	351.4	352.4	485.8	359.4
德 國.....	25.3	27.7	29.1	30.9	25.0	31.7	無數據	45.0	無數據
日 本.....	73.2	66.6	75.5	61.8	78.6	77.0	無數據	126.0	無數據
墨西哥.....	52.8	57.8	78.7	34.1	32.6	41.4	40.8	35.4	50.7
挪 威.....	11.8	12.0	14.8	15.3	19.7	19.7	無數據	1.0	無數據
秘 魯.....	25.7	47.8	54.4	21.4	32.9	36.3	36.9	26.2	19.4
西班牙和葡萄牙...	99.6	54.7	48.6	29.6	27.7	34.4	無數據	9.5	無數據
美 國.....	557.4	768.8	931.1	231.8	557.9	502.1	809.4	1018.8	583.8
南斯拉夫.....	—	12.9	20.7	30.2	39.1	42.0	42.9	22.5	無數據
其他國家.....	22.3	48.3	60.1	51.9	82.5	125.5	197.6	205.0	無數據
總 計	968.3	1512.4	1896.2	864.7	1585.0	1888.5	2205.0	2584.0	無數據

從上表可看出，全世界在 1913 年產銅 968,000 噸，至 1944 年增加到 2,584,000 噸（不包括蘇聯）。在資本主義國家中煉銅業的發展是不平衡的：在 1932 年（資本主義國家的經濟恐慌最厲害的一年）熔煉的銅降低到 864,000 噸。以後由於戰爭的刺激，在 1938 年增到每年 1,888,500 噸

銅在應用上是僅次於鐵的金屬。大部分銅（佔全部產量 50% 以上）是用於電氣工業（電機製造、動力線和照明線、電話和電報）。銅的第二種應用是配製各種合金，這些合金廣泛地應用於機器製造業，其中最重要的是黃銅（銅和鋅的合金），銅鋅合金〔如孟氏合金（монель-

металл),銅鎳(купро-никель)等],及各種各樣的青銅(銅及錫的合金)。

汽車工業、建築工業以及各種器械和家常用品(器皿、冰箱、洗衣機、刮臉工具等)的製造,都需要大量做成合金形式的銅。

銅是戰略金屬,廣泛地應用於兵工方面。

2. 銅業在蘇聯領土上的發展

在蘇聯領土上的遠古時代就開始了銅的開採,如在烏拉爾、卡沙赫斯坦及西伯利亞都可遇到許多殘留的痕跡。那些被稱為“奇蹟”的經過開採的礦區留傳到好幾世紀以後。15—16 世紀時在阿爾漢格爾斯克(Архангельск)及鄂隆尼次克(Олонек)省有少量銅礦開發。烏拉爾的第一個煉銅廠配斯可爾斯克(Пыскорск)煉銅廠建立於1635年。

不久以後,18世紀初葉在東烏拉爾建立了兩個新廠——波列夫斯克(Полевск)[位於古密雪夫斯克(Гумешевск)礦區]和維斯克(Выйск)[位於下塔吉爾(Тагил)區]。18世紀末葉在北烏拉爾開始採掘土爾音斯克(Турьинск)礦區,在該礦區建立了兩個新廠——波哥斯羅夫斯克(Богословск)及尼古拉—伯夫丁斯克(Николо-Павдинск)。

18世紀末和19世紀初,在高加索有阿拉維爾德斯克(Аллавердск)及沙姆卜魯格斯克(Шамблугск)兩廠,在明魯新斯克(Минусинск)地區和卡沙赫斯坦建立了煉銅業;同時俄國開始向國外輸出銅。但是農奴制的俄國在革命前是難於進一步發展製銅工業的,因而製銅工業的增長總遠遠地落後於對銅的需要。

20世紀初,俄國的銅業不僅遠遠不能適應其國家資源情況,也不能適應對金屬的需要,更特別的是在十月革命前20年中,俄國的銅業竟落在外國的股份公司的掌握之下,這些公司完全爲了最大的利潤而用掠奪的方式去開發礦區。

第一次世界大戰發生後俄國的銅業急劇地衰落下去,至1918年幾乎全部停頓了。

列寧向黨第九次代表大會提出了國家電氣化計劃，根據這計劃，國家電氣化協會（ГОЭЛРО）對於恢復並發展銅業問題，建議了有步驟的進程。

1922 年春恢復並擴大了烏拉爾的卡拉丁斯克（Калатинск）煉銅廠，不久以後又恢復並擴大了巴依馬克斯克（Баймакск），配什明斯克-克留契夫斯克（Пышминско-Ключевск）及恩-開什鐵木斯克（Н-Кыштымск）煉銅廠。在 1925 年建立當時規模最大的聯合卡拉巴西斯克廠（Союзе Карабашский завод）。

從此開始着手新廠的設計和建設了，在 1928 年底，卡沙赫斯坦的新建卡爾沙克巴依斯克廠（Карсакпайский завод）開工，而三年後北烏拉爾的紅色烏拉爾廠（Красноуральский завод）也開工了。

在斯大林的五年計劃年代裏，煉銅工業得到大規模的發展。

到第二次世界大戰時，蘇聯的煉銅工業已比革命前的俄國超過好幾倍，就是蘇聯已建立了嶄新的巨大的製銅工業。

蘇聯最高蘇維埃 1946 年 3 月通過的蘇聯恢復及發展國民經濟的 1946—1950 年五年計劃中規定，在五年內銅的冶煉量要增加到 1.6 倍。蘇聯擁有豐富的銅礦，製銅工業將以更高的速度向前發展。

3. 俄國和蘇聯冶金學家在煉銅方面的工作

考古學的研究，尤其是古城市的發掘研究證明，俄國的城市在七至十世紀已經有手工業者從事金屬的採掘和加工。

十一至十五世紀的許多史書中記載着有名的有色金屬和合金的鑄工，鑄造了教堂的鐘、教堂內部的台子和教堂的屋頂，稍後有鑄造大炮的工匠，製造出“俄國鑄的火銃”。最著名的是十六世紀的炮匠兼鐘匠安德烈·契訶夫（Андрей Чехов），為莫斯科克林姆林宮鑄造了重 2,400 普特（即 40 噸）的“神炮”。

烏拉爾和阿爾漢格爾斯克省的第一個煉銅廠，是俄國人自己建造

的，沒有外國技術員的幫助。十七世紀三十年代，大工匠斯捷列西尼夫（Стрешнев）領導建造了烏拉爾的第一個名為配斯可爾斯克的煉銅廠，五十年後，書記官卡魯金（Калугин）在葉拉布格（Елабуг）地區組成了沙拉林斯克（Саралинск）煉銅廠。

從十八世紀初開始，在烏拉爾建立了一系列的煉銅廠。

對蘇聯礦廠事業的發展，有卓越貢獻的是天才的學者兼哲學家米哈依爾·瓦西里維奇·羅蒙諾索夫（Михаил Васильевич Ломоносов）的著作和事業。羅蒙諾索夫的著作“冶金學或礦業學的初步原理”，在1742年寫成，1763年發表，是俄國冶金和採礦方面第一本教科書。羅蒙諾索夫在該書冶金部分系統地敘述了主要金屬的物理化學性質，闡明了金屬的燃燒（氧化）理論以及“灰”（金屬氧化物）的生成。

羅蒙諾索夫最先表述了物質不滅定律。在十八世紀時，其他國家正流行着所謂“燃素學說”，按照這學說，一切金屬都是由可揮發物——燃素組成，當加熱時，金屬揮發至空氣中，而不揮發部分就是“灰”或氧化物。羅蒙諾索夫運用了令人信服的證明，在金屬氧化過程中，金屬與“空氣中重的粒子”（即氧）相化合。

羅蒙諾索夫在專論冶金的部分，描述了從礦石中提取金、銀、銅及鉛的冶金方法。對任何準備礦石特別注意，其中也提到並且說明了技術保安、煉爐構造及煉爐構造及煉爐的控制。

羅蒙諾索夫書中很詳細地描述了如何從“黃色的礦石”來製出硫酸銅。其中有銅礦的風化過程，以及將銅礦硫酸化焙燒後再將燒結塊浸出的過程。

羅蒙諾索夫的著作曾廣泛地流傳於俄國的礦廠企業中，無疑地，該書曾有助於礦廠事業進一步的發展。

羅蒙諾索夫書中的天才的附錄：“根據礦坑的觀察論空氣的自由運動”和“論地層”，在近一百年前就預示了空氣在礦坑或熾熱的爐中運動的學說以及地質學的一些極重要的原理。

十八世紀上半期，在烏拉爾廠區已建立有礦廠學校，這種學校供給礦山企業需要的“能為礦山服務的能幹的人才”^①。1774 年俄國創立了第一所礦廠事業的高等學校——彼得堡礦業學院。



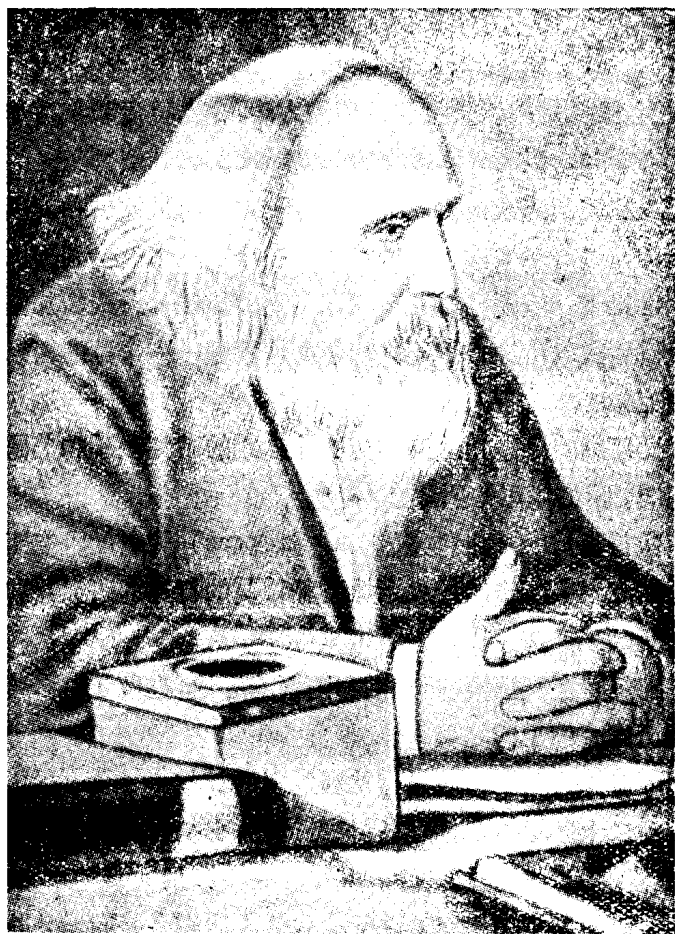
М. В. 羅 蒙 諾 索 夫

十九世紀後半期，由於俄國的農奴制度和西歐資本主義國家的競爭的影響，製銅工業呈衰落的狀態；俄國的煉銅業遠遠落後於國家對

① Порф. В. В. Данилевский, «Русская техника», стр. 64, 1947 年。

金屬的需要。然而在這段時期，先進的俄國技術人員和科學家不倦地研究了冶金生產的改進和進一步發展的問題。

十九世紀的全世界科學，被俄國天才學者門德列夫（Д. И. Менделеев）的著作豐富起來。門德列夫編製了“化學元素週期律”，在1868—1870年間發表於他的主要著作“化學原理”中。



Д. И. 門德列夫

波哥斯羅夫斯克冶煉廠的俄國技術人員，對煉銅生產方面作了有

意義的工作。1868年西門尼科夫(Семенов)工程師在該廠做了著名的用酸纜吹爐吹煉冰銅的實驗。西門尼科夫工程師關於硫化物氧化時發生大量反應熱的觀念，以後就成為實踐的硫化礦不用焙燒的直接熔煉法和冰銅吹煉法的基礎。

波哥斯羅夫斯克廠的硫化礦用鼓風爐半自熱熔煉法和冰銅吹煉法，在當時到達高度完善的水平，並且該廠培養出許多傑出的冶金學家。

在俄國，鼓風爐熔煉是主要的煉銅方法，在烏拉爾和在高加索都是自發獨立發展的，沒有外國操作實踐的顯明影響。俄國工廠的經驗曾引起了西歐和美洲國家很大的興趣，這一點可以從德國和美國雜誌中有很多論文描述許多俄國工廠的管理和操作實踐情況得到證明。

二十世紀初，俄國已嫺熟掌握了自熱熔煉法（在後高加索和烏拉爾），並且按新式的冶煉方法建立起新的煉銅廠——卡拉巴西斯克廠和卡拉丁斯克廠。

卡拉巴西斯克廠運用酸纜吹爐吹煉冰銅的時期幾乎和美國工廠實施時期相同，而遠比西歐各國為早。

還有值得指出的凡紐科夫(В. А. Ванюков)著名的研究工作，就是他在維斯克工廠所作關於火精煉時各雜質的行為的研究，和他在煉銅爐渣方面的工作。

十九世紀時在烏拉爾、高加索和阿爾泰等地，也做了許多著名的有關銅的水冶方面的工作。

俄國學者對煉銅生產過程有特別豐碩的貢獻。

一直到二十世紀初期，煉銅還只是技藝，它是完全根據工廠經驗發展起來的，沒有相當的理論基礎。其中存在着關於元素的化學親和力，元素的性質不變等說法。銅礦之所以被煉成冰銅，是認為完全由於銅對硫的親和力大於對鐵的親和力。

巴依科夫(Байков)和特魯特尼夫(Трутнев) (1907年)的經典著作

指出，金屬銅與硫化鐵的反應及其逆反應是服從質量作用定律的。在某一溫度下該反應的平衡及其進行方向，視各反應物的相對分量而定。根據質量作用定律，反應朝着補充不足物質的方向或者朝着能使多餘物質減少方向進行。溫度增加時，則此反應的平衡朝向形成硫化亞銅和金屬鐵的方向進行。

不久以後，同上作者又研究了硫化鐵、硫化亞銅系統，確定了硫化物在液態和固態時的完全互溶性，以及在固態硫化物相互間化學作用的影響，使銅析出和形成黃銅礦式的複硫化物。

庫爾那科夫院士（Н. С. Курнаков）及其學派作了舉世聞名的研究，他利用物理化學的分析方法，研究了各重要的冶金系統：銅-金〔庫爾那科夫和茹姆秋雪來（Жемчужный）〕；銅-銻（巴依科夫）；銅-鎳（庫爾那科夫和茹姆秋雪來）；銅-鎂、銅-錳〔茹姆秋雪來，烏拉索夫（Уразов）和雷科夫斯科夫（Рыковсков）〕；銅-鈷〔康斯坦丁諾夫（Константинов）〕及一系列的其他的系統（以後還研究了一些爐渣和冰銅的系統）。這些工作對於冰銅如何溶集貴金屬，對於冰銅形成和造渣過程等的解釋，有重大的意義。

偉大的十月革命的勝利，為科學和技術的創作開闢了寬廣的前途，蘇聯冶金學家創造性的工作，到達空前的規模和強大。

在蘇埃維政權年代，我國已建立了強大的製銅工業。在這工業中運用了新的方法來處理銅礦及銅精礦——浮游選礦法，精礦的焙燒和反射熔煉，提取硫元素的硫化礦鼓風熔煉法，在大型反射爐中進行火精煉，銅鎳礦的電冶等。

蘇聯學者和研究人員的業務工作是多方面的並且是富有成果的。在煉銅方面傑出的著作，應當指出莫斯托維奇（В. Я. Мостович）（1924年）的創造性的研究：“在冰銅中的氧”，他指出氧是冰銅中必定的成分，並呈成分不一定的各種鐵的氧化物（亞鐵酸鹽）形式存在。

巴依科夫院士研究了自熱熔煉的理論，發表於1925年的“俄國冶