

中等專業學校教學用書



漆包線的製造

瀛洲、明可、南祁合譯



機械工業出版社

出版者的話

有關漆包線的製造書籍，國內很少，故本書的出版是有其特殊意義的。

本書為蘇聯電力工業部審定的中等專業學校教材。全書共分為三大部分：第一部分論述製造漆包線的各種原料以及關於漆膜形成過程的原理；第二部分論述製造漆包線的各種方法和漆包車間的裝備；第三部分論述漆包線的鑑定方法和有關改進漆包線生產的各種問題。全書以蘇聯先進經驗和科學成就為核心，兼論及其他各國漆包線製造的一般情形，其理論的敘述深入淺出，實際經驗的介紹詳細全面，對於我國中等專業學校來說，實為一本良好的讀物；而對於現場工作的工程技術人員來說，也是一本極有價值的參考書。

由於原書出版年月較早(1947年)，其序言內容已不符目前情況，特予刪除，在此附筆說明。

蘇聯 В. А. Привезенцев 著 'Производство эмалированной проволоки' (Госэнергоиздат 1947 年第一版)

* * *

NO. 0787

1955年7月第一版 1960年1月第一版第三次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數140千字 印張6³/₉ 3.001—4,600冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷

新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第008號

定價10 0.80元

目 次

第一章 關於膜體形成過程的基本知識	5
1. 油的概念	5
2. 油的乾燥和膜體的形成	6
3. 在珞瑯漆內乾燥劑的應用	10
第二章 原料和半製品	12
4. 銅線	12
5. 鋁線	14
6. 電阻合金	15
7. 桐油	16
8. 亞麻油	17
9. 蓖麻油	19
10. 向日葵油	20
11. 棉籽油	21
12. 紅花油、杉松油和線麻油	22
13. 甘油	22
14. 磷苯二甲酐	24
15. 亞氏人造樹脂	24
16. 樹脂酸錳和樹脂酸鈣	25
17. 對苯二酚	26
18. 溶劑	27
19. 煤油	27
20. 松脂	29
第三章 珞瑯漆	30
21. 用桐油和亞麻油製成的珞瑯漆	30
22. 單用亞麻油製成的珞瑯漆	30
23. 用蓖麻油製成的珞瑯漆	31
24. 用向日葵油製成的珞瑯漆	32
25. 用其他植物油製成的珞瑯漆	32
26. 克立夫達爾珞瑯漆	33
27. 用人造樹脂製成的其他幾種漆	37
28. 養漆間的設備	40
29. 珞瑯漆的製造工藝	47
30. 珞瑯漆的試驗	50
第四章 漆包線車間的設備	53
31. 漆包機	53

32. 放線裝置	51
33. 漆槽及供漆均勻地塗在導線上用的裝置	56
34. 烘線爐的構造	58
35. 漆包機的受線裝置	62
36. 關於漆包機裝置的其他材料	67
37. 臥式烘線爐	73
38. 通風	75
39. 烘線爐內溫度的調整	78
第五章 漆包線的製造	81
40. 導線塗玻璃漆的工藝過程	81
41. 漆包線的包裝和印標	83
42. 漆包線的重繞	86
43. 漆包線廢品的種類和消除廢品的方法	87
44. 漆包機的清潔	89
45. 漆包線車間的安全技術	89
第六章 漆包線質量的鑑定	91
46. 漆包線的分類和對於漆包線的要求	91
47. 雙層漆包線	96
48. 鑑定漆包線質量的新方法	96
第七章 維尼弗勒克斯漆包線	102
49. 漆絕緣與他種繞組導線絕緣的比較	102
50. 外國福爾米克斯導線的特性	103
51. 多乙烯二甲氧基甲烷玻璃漆配方的研究	104
52. 維尼弗勒克斯導線試驗性生產的組織	106
53. 維尼弗勒克斯試驗導線的絕緣性和機械性鑑定	108
54. 用矽有機化合物作為基本原料的漆料	110
結論	111
參考文獻	113

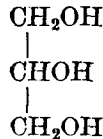
第一章 關於膜體形成過程的基本知識

1 油的概念

直到最近，植物油仍是我們製漆包線所用的主要膜體形成材料。因此，我們研究膜體形成材料要從油性珞瑯漆開始。

按成分說，植物油是丙三醇(甘油)與脂肪族各種酸(油酸、亞麻酸和次亞麻酸等)的酯類(甘油酯)。

甘油的結構式如下：



甘油可以產生出帶一個、兩個或三個分子的脂肪酸，並相應的形成一甘油酯、二甘油酯或三甘油酯。在二甘油酯和三甘油酯的結構中可能含有某一種酸或某幾種酸；因此，二甘油酯有單酸的和二酸的兩種，三甘油酯有單酸的、二酸的和三酸的三種。

從前都認為植物油是由單酸的三甘油酯所組成。現在已經確定絕大多數植物油中的三甘油酯都是二酸的和三酸的。

在植物油內所含的三甘油酯狀的脂肪酸可分為兩類：

a) 含有化學成分為 $C_nH_{2n}O_2$ 的分子的飽和酸。油漆工業所用的油通常只含有少量的飽和酸。飽和酸的特點是在標準狀況下具有極高的穩定性和不變化性。這類酸難以氧化，通常只具有很薄弱的乾燥能力。

b) 具有在結構上含有一個、兩個或三個雙鍵，在化學成分上各為 $C_nH_{2n-2}O_2$ 、 $C_nH_{2n-4}O_2$ 、 $C_nH_{2n-6}O_2$ 的分子的不飽和酸。這類酸是植物油的主要組成部分。不飽和酸與飽和酸的明顯的區別在於它具有易氧化性和對化合與聚合反應的傾向性。酸的不飽和度愈高，則其易氧化性和對化合與聚合反應的傾向性表現得愈為明顯，並且這種油的乾燥與膜體形成能力也愈強烈。因此，含有大量帶兩個雙鍵脂肪酸，特別是帶三個雙鍵脂肪酸的油是最優良的製漆材料。桐油和亞麻油之所以被用作主要的製漆(包括珞瑯漆)材料，原因便在於此。在這兩種油中，由以下所列可知含有大量帶兩個和三個雙鍵的脂肪酸甘油酯。

構成桐油與亞麻油主要成分的脂肪酸，其分子結構如下：

油 酸 $C_{18}H_{34}O_2$ ，即 $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$

亞 麻 酸 $C_{18}H_{32}O_2$ ，即 $CH_3(CH_2)_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$

● 在編寫本章時，作者引用了下列兩書的材料：基謝列夫(B. Я. Киселев)教授著‘乾燥油與油漆’，德林別爾格(A. Я. Дринберг)教授著‘膜體形成物的化學與工藝學’。

次亞麻酸 $C_{18}H_{33}O_2$ ，即 $CH_3CH_2CH=CH \cdot CH_2 \cdot CH=CH \cdot CH_2 \cdot CH=CH \cdot (CH_2)_7 \cdot COOH$

桐油酸 $C_{18}H_{33}O_2$ ，即 $CH_3(CH_2)_5CH=CH \cdot CH=CH \cdot CH=CH \cdot (CH_2)_7 \cdot COOH$

由此可見，油酸有一個雙鍵，亞麻酸有兩個雙鍵，而次亞麻酸和桐油酸各有三個雙鍵。此外，前三種酸的化學結構本質上跟桐油酸是不相同的，而其不同之處則是桐油酸雙鍵的位置是相鄰的，或叫共軛的，其他酸雙鍵的位置是相間（不相鄰的）的。

在製漆材料中，共軛的雙鍵最受歡迎。因為跟帶相間雙鍵的油相比，帶相鄰雙鍵的油既有較大的分子聚合能力，又有更為快速的凝固能力。

此外，如果測定桐油的碘價，則通常所測出的碘價不會超出以碘長期作用後所得數的 $\frac{2}{3}$ 。產生這種現象的原因是在桐油的雙鍵相鄰處有一部分雙鍵很難與鹵素化合。在氧的作用下，也會產生同樣的情形，因為氧會使桐油的分子，對於帶有破壞性的氧化過程，具有較大的抵抗力。

我們應當切記，所謂碘價就是 100 克油所能化合的碘的克數，而這種化合通常都發生在脂肪酸分子的雙鍵處。

2 油的乾燥和膜體的形成

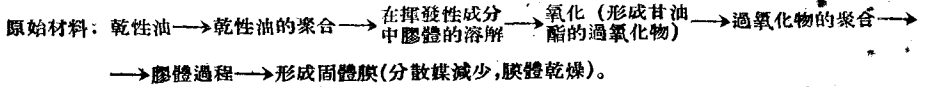
現在我們要進而講到油的乾燥和膜體的形成這兩個問題。我們不談乾燥與膜體形成理論的發展，而只須指出近百年來有許多傑出的研究者研究過這兩個問題，但直到最近為止，油的乾燥過程和膜體形成過程仍未精確研究出來，因而還需要作進一步的研究。

應當指出，最初的研究者[慕黎傑爾(Мульдер)、巴外爾(Бауэр)、郭楚拉(Гоцура)等]及其後繼者[法利歐(Фарион)、甘里克斯(Генрикс)、恩格立爾(Энглер)、郭利傑(Гольде)、甘傑(Генте)等]直到二十世紀二十年代仍然認為油的乾燥過程及膜體形成過程是單純的化學過程，也就是說他們認為膜體只是由於油分子被氧所氧化以及這些分子在雙鍵處聚合等過程而形成。

直到 1920 年才有許多學者，首先是斯蘭斯基(Сланский)和沃利夫(Вольф)指出在油乾燥和膜體形成時的化學過程是這種現象的剛開始階段，並作為在膜體形成時即已開始的許多膠體過程的發展基礎。

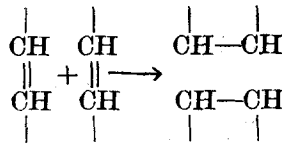
必須指出，直到最近為止，在發展膜體形成新理論(膠體理論)方面，對乾燥與膜體形成的過程還沒有取得某種一致的意見。關於這一點，只要舉出像阿外爾(Ауэр)這樣的研究者，還認為非精製亞麻油及其他植物油在自然狀況下就是膠體分散產物就可完全明白了。據此，他認為薄層的油將會由於任何氣體的作用而凝固並形成膜體。後來，許多研究者[維爾聶爾(Вернер)和什馬利伏斯(Шмальфус)等的著作]駁斥了這些見解。我們對於在膜體形成的理化過程方面還有問題的其他許多假說不準備多談，而只要指出，以斯蘭斯基、沃利夫、沙別爾(Шайбер)、馬爾庫孫(Маркусон)的著作為根據，並在愛布聶爾(Эйбнер)著作中所發展的膠體化學理論是現在普遍公認的。

根據這一理論，膜體形成過程可用下列圖解表示：



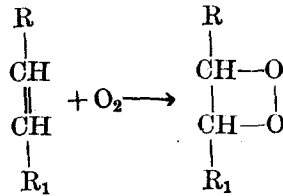
在製漆時，亞麻油（有時則為桐油）的聚合是在製漆前發生的。由揮發性溶劑（此處即品質優良的煤油）引起的珉瑯漆的膠體溶解，則是在珉瑯漆製成後，尚未塗到導線上去時產生的。

在將油加熱發生聚合時，油分子就會因雙鍵相互飽和而結合。這種反應可由下式表示：

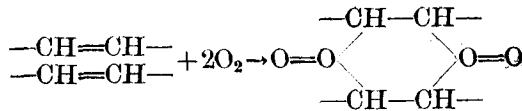


脂肪酸甘油酯分子的聚合，由於不飽和雙鍵數量的不同而由兩個分子、三個分子或更多個分子組成。

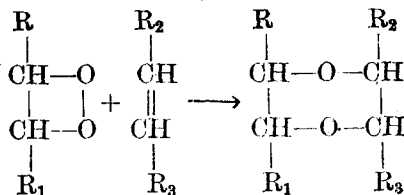
當在導線上塗漆後，此處所以必然產生甘油酯過氧化物，是由於在殘存雙鍵處化合了氧的緣故。這一過程在理論上可用如下方式來表示：



按照馬爾庫孫的看法，甘油酯的氧化是按下列程序產生的：首先有兩個甘油酯分子化合兩個氧分子，並如下式所示，其所化合的氧有一半保持着不穩定狀態，易於分離，並使相鄰的碳化氫氧化。



除上述甘油酯氧化過程以外，也有一部分會發生氧化物的聚合反應。這種反應可用下式說明：



油乾燥及油漆膜體形成過程的第一部分（化學部分）現在在這裏已用圖加以說明了。但是，應當指出的是無論蘇聯或其他國家在油與油漆方面的優秀專家們都認為。

儘管近年來在這方面進行了廣泛的研究，但還沒有很好將它適當研究出來，有許多問題還有待今後工作中更精確地研究。

油乾燥與膜體形成的第二階段（膠體過程）對我們有着巨大的用途。現在我們先談一談幫助理解本篇所必要的幾個膠體化學上的基本概念。

首先我們應當準確理解分散性這個概念。如果有兩種物質，其中一種物質以細碎狀態存在於另一物質的介質中，則這樣的系就叫做分散系。在這裏，‘分散性’的定義跟‘粉碎性’這個術語是一樣的。

以細碎狀態存在的物質叫做溶質或分散相，而圍繞第一種物質微粒的另一種物質則叫做分散媒或溶媒。

澱粉的水溶液就是分散系的例子。在這裏，澱粉是分散相，水是分散媒。

分散相和分散媒可以呈現各種不同的集聚狀態（固體介質中的固體微粒，液體介質中的固體微粒，氣體介質（煙）中的固體微粒等）。

在這種情況下，我們要用的分散系是其分散媒為液體的那一類。現在，這類分散系是按分散相微粒的平均大小加以區別的：

1. 真溶液。在這種溶液內，溶解成分（分散相）的微粒平均在1仟分公忽（ $m\mu$ ）（ 10^{-7} cm）以下。通常，這種溶液的分散程度所達到的微粒是分子或離子，因而這種溶液是完全一致和均勻（糖的溶液）的。

2. 膠體溶液。在這種溶液中，被溶解的微粒平均在1~100仟分公忽（ $m\mu$ ）之間，但有個別專家認為這個範圍太大，因為帶微粒1仟分公忽（ $m\mu$ ）的膠體溶液的存在是有問題的。膠體的微粒可能是數目極不一致的分子所組成。如果是無機的膠體微粒，則分子的數量會隨着分子的大小和結構而達到數仟、甚至數萬之多。如果是分子結構複雜的有機物，則膠體微粒內的分子數量會大大減少；並且在像蛋白質這樣複雜的化合物內，分子數量會只有一個。在這種情況下，膠體溶液跟真溶液相近似，因為兩種分散系都是一個分子一個分子地分散着的。

3. 混懸液或乳濁液。在這種溶液中，被溶解微粒的大小在100仟分公忽（ $m\mu$ ）以上（例如水內油的混懸體等）。

膠體溶液具有與真溶液不同的許多特性。例如，膠體溶液的滲透壓力很小，因而其分散速度很小，即從分散相走向濃度較小方面的速度很小。膠體溶液具有很多光學性質：例如在直射光線下好像透明的介質，在側射光線下則好像渾濁的介質。另外，膠體溶液在直射光線和擴散光線（反射光線）的作用下會呈現出一定的色調。如果膠體微粒有自己特定的顏色，則膠體溶液在直射光線下會有顯著的顏色，且在某些場合下，這種顏色還跟膠體微粒的大小有關。

在大多數膠體溶液中，分散相的微粒都帶有正電荷或負電荷（因此亦常分為正膠體和負膠體）。在電場作用下，這些微粒向一個電極移動〔電泳現象（явление катифореза）或泳電現象（явление электрофореза）〕。泳電現象跟電解現象（явление электролиза）不同之處在於：電解時在兩個電極上產生等量的物質，而泳電時物質主要向

一個電極移動。

我們不可能來詳細敘述膠體溶液的這些特性，主要因為有相關的‘膠體化學教程’可供有興趣研究這些問題的人來作適當的參考。這裏，我們只談一談對我們最有用的一種特性——膠體溶液的穩定性。一般說來，膠體溶液是不穩定系。有時，當加入極少量的電解質時，就會使膠體溶液產生沉澱物。這種現象稱為膠凝(коагуляция)，而所形成的沉澱物(膠凝物 коагулят)稱為凝膠(гель)。正常液體狀況的膠體溶液通常叫做膠溶體(золь)膠體溶液的這種迅速變化，是由於整個分散系的不穩定性，主要是由於溶液擴散程度的變化性而產生的，並且加入電解質通常都能促使膠體溶液穩定性的降低。

除了發生膠體溶液的沉澱物以外，還有一種所謂膠化(желатинизация)或凝結(застудневание)的變化，即變為半固體狀態的變化。這種現象可能是由於加入電解質以及由於溫度的影響而產生，某些膠體溶液的膠化過程是在冷卻時產生，而另一些就恰恰相反，是在加熱時產生(蛋白等)。

再看我們所研究的膜體形成過程。根據現在很有權威的油類乾燥膠體化學理論，膜體形成過程的下一進程可以簡單表述如下：由於上述氧化與聚合的化學反應，油從分子分散狀態變為膠體溶液；在膠體溶液內，聚合的分子是分散相，分子分散的油是分散媒。在一定條件和一定濃度下，除局部繼續着化學過程外，還產生凝固過程，這也有助於固體膜體的形成。因此，膜體的硬度以及膜體彈性的大小也與分子分散油殘基的存在有關。

自然，分散媒會隨着時間的消逝而減少；當分散分子的油差不多全部變為固體凝膠時，就會使膜體角質化(ороговение)，膜體就變得比較易碎，同時這種易碎性隨着膜體的陳化而逐漸增大。

許多研究者(馬爾庫孫等)的研究工作已經部分肯定了以上看法的可靠性，他們的研究工作證明了，在亞麻油的乾膜內約含有5%分子分散的油；在其他油的膜體內可能大大超過5%。

指出漆包線製造者所熟知的下列現象也是重要的：顯然，很富有彈性的漆包線大都沒有足夠的耐汽油性，相反的，很耐汽油的膜體大都沒有足夠的彈性。可以想像，殘存於膜體內並且易溶於汽油的分子分散油的含量，在這方面是有某種作用的：膜體內(不夠乾的‘濕’膜體內)這種油的含量越大，則膜體的彈性也越大。過乾的、易碎性很大的漆膜大也都同時具有很高的耐汽油性。

下面將要指出，在製作優良的漆包線時，所謂雙層漆，即漆膜增厚的漆包線，是絕對有益的，並具有某種技術意義。在這種情況下，漆膜所以增厚，或者是因為塗漆時通過漆的次數增加，或者是因為兩次經過烘線爐。當然，這種漆可以用各種各樣的漆製成。製作這種漆包線時，最好要注意到下列在膜體形成理論與工藝學方面的研究成果：沃利夫的研究工作確定了如果有兩層漆，同時第一層內只含有微量分子分散的油，而另一層內分子分散油的含量特別大，那末在兩層膜體形成之後，第二層漆的分子分散

微粒開始逐漸移動，並被第一層漆的膠體組成部分所吸附。根據沃利夫的研究，在亞麻油的膜體內，這樣的油粒移動可於一年之後看得出來；移動過程則由於各種的條件（膜體種類、塗漆方法、分子分散油含量差別等）而延至更長的時間，直到出現標準平衡狀態為止。

製造具有兩層漆的漆包線時，最好應用這些研究成果，同時最好使內邊的漆層含油較多，外邊的漆膜含油較少，即分子分散漆的含量較少。在這種情況下，漆膜外層的硬度和抗溶性都會增加，這在製造電機和電器的繞組、元繞組的過程中是非常重要的。油粒的繼續移動，將能阻礙外層膜體的迅速老化。

近來，除用油性珐瑯漆製造漆包線以外，也開始應用以人造樹脂製成的漆（由亞麻油脂肪酸和—甘油酯變性的克立夫達爾漆（глифталевые лаки），所謂維尼弗勒克斯（винифлекс）、亞氏人造樹脂（альбертоли）等珐瑯漆的多乙烯縮醛漆（поливинилацеталевые эмальлаки）。這些漆的膜體形成過程複雜得多，並且還有其他化學現象相伴產生。更詳細的情況將於後面講到各種配方時分別敘述。

3 在珐瑯漆內乾燥劑的應用

在製造珐瑯漆，特別是油性乾燥油漆時（例如，用向日葵油製成的乾燥油等），往往應用能加速乾燥和促進膜體形成的特殊物質，這種物質叫做乾燥劑。某些金屬（如 Mn、Co、Pb、Zn、Ca 等）的氧化物，以及這些金屬與脂肪酸的鹽類都可用作乾燥劑。這些乾燥劑的取得和鑑定以後再講，這裏僅只簡單指出現代對於應用乾燥時所發生的各種現象的看法。首先必須指出，直到最近，對那些含乾燥劑油類在乾燥時所發生的化學過程還沒有適當地研究清楚。現在，在任何情況下對這些過程都沒有某種一致的看法。

現在只能肯定說，乾燥劑只會加速、而不會改變這種乾燥與膜體形成過程。許多次的實驗還確定了：在一定限度內，油的乾燥速度跟所加入乾燥劑的數量成正比例，但在乾燥劑超過最適宜的數量時，就反而開始降低乾燥速度。此外，還確定了最適宜濃度 C 與乾燥劑的原子量 A 大致成正比例，即：

$$C = K \cdot A, \quad K = \text{常數}。$$

甘傑（Генте）、奧斯特瓦利得（Оствальд）以及十九世紀末期的其他許多化學家都認為乾燥劑的作用如下：

如以 M 表示金屬乾燥劑， A 表示油，則所產生的反應就是：



最後，還有人 [佛金教授（проф Фокин）等] 認為這種過程可能按下列方式進行：



各種乾燥劑都可按其活潑性排在某一系列裏。雖然在各種金屬的順序安排上還沒有一個完全一致的看法，但是 Co、Mn、Pb 的氧化物確是最強烈的乾燥劑。Ca、Ba 等的氧化物是較弱的，因而也是應用較少的乾燥劑。最好的辦法是同時應用幾種乾燥

劑。在這方面，如所週知，兩種乾燥劑的加速作用大於其中任何一種單獨的作用，同時三種乾燥劑的配合作用比其中任何兩種都活潑。

有人說，相應的乾燥劑能夠加速每一相的反應。在製漆工業實際工作中所用的乾燥劑，主要是相應金屬的氧化物（ MnO_2 ——過氧化錳； PbO ——密陀僧等）或者可溶性的乾燥劑——樹脂酸或脂肪酸的鹽類。

松香樹脂酸的鹽類叫做樹脂酸鹽（резинаты），亞麻油脂肪酸的鹽類叫做亞麻酸鹽（линолеаты），石油環烷甲酸的鹽類叫做石油環烷甲酸鹽（нафтенаты）。

製漆通常採用金屬的樹脂酸鹽，而在我們的實際工作中都用樹脂酸錳和樹脂酸鈣。

正像上面所講的，樹脂酸錳是很強烈的乾燥劑，因而用量不能超過一定限度，樹脂酸鈣的用量則很大，同時，在製造漆時，樹脂酸鈣是漆的主要成分之一，其用途也是造成膜體所必要的硬度和機械強度。

必須指出，選擇乾燥劑以及確定漆內乾燥劑的適宜用量都要特別留心，並要首先細心檢查乾燥劑本身，否則就會由於漆膜迅速陳老而產生很嚴重的後果。在我們一個電纜工廠的實際工作中，曾把石油環烷甲酸鈣用作乾燥劑。新漆製成的漆包線在初期具有很良好的電氣性質和機械性質。但是，幾個月後，漆膜就變得易碎和從線上剝落，這就使漆包線不能始終如一地應用。

這裏需要指出，膜體形成後，乾燥劑的作用並不改變，同時，其多餘部分，特別是錳能夠加速膜體的老化。

第二章 原料和半製品

製漆包線所用的各種材料，可分為兩大類：導電材料和製漆用的材料，即所謂製漆材料（лакоматериалы）。在導電材料中，銅線特別重要；鋁線則很少應用，其應用僅是爲了完成特殊的訂貨。此外，電阻合金〔銅錳鎳合金線（манганиновая проволока）和鎳銅合金線（константановая проволока）〕近來也大量地用來製造漆包線。

4 銅線

銅有很好的機械性質：較軟，可塑，因而可製出很細的銅線和銅條，以及各種不同斷面的銅製品。銅的比重是 8.9。

銅線的機械性質與其拉絲方法，特別是熱加工有着極大的關係；例如所謂硬抽銅線的硬銅線，其抗張力很大，斷裂時的延伸率很小。如把這種線退火，則其性質就要大大地變化：可以得到柔軟的、經過退火的銅線，這種銅線的抗張力極小，而斷裂時的延伸率大爲增加。另外，軟銅線還具有稍高的導電率。

退火對銅線的機械性質的影響如圖 1 所示。

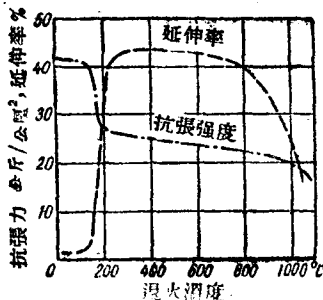


圖 1 退火對銅線的機械性質的影響。

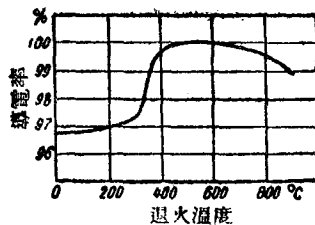


圖 2 退火對銅線的導電率的影響。

圖 2 表明了銅線的導電率與其退火溫度的關係。這條曲線的性質也與溫度影響延伸率的曲線一樣。如果注意到，在以油性漆或克立夫達爾漆塗漆時烘線爐的溫度約爲 350~400°C，那就可以從圖 1 和圖 2 裏得出以下的重要結論：未退火的硬銅線可用來製造漆包線，因為它會在通過烘線爐時受到必要的退火。但必須指出，只有安裝着專用的送線設備以及當銅線繞在捲軸上送入漆包線車間時，才可以對硬銅線塗漆。不在線捲上的硬銅線不能塗漆，因為在這種情況下，由於硬銅線本身的彈性而容易弄亂，因而就要停止機器動作和使廢品率增高。在電工方面，其中包括漆包線的製造，都要應用牌號爲 M-1 (ГОСТ 859-41) 的純銅（電解純銅）。這種銅內的雜質不得超過 0.1%。

比電阻爲 $0.017241 (1/58)$ 歐姆·公厘²/公尺的銅線是國際標準所規定的標準導電銅線。根據現行標準，比電阻稍許超過此數通常是許可的。例如，按照 ГОСТ В-

2112-43, 在 20°C 时各种銅綫的比电阻不得大于以下数字: 各种粗細的軟(退火)銅綫(牌号MM)—0.01754 欧姆·公厘²/公尺; 直徑 0.99 公厘以下的硬銅綫(MT)—0.0182; 直徑 1.00~2.49 公厘的硬銅綫—0.0180; 直徑 2.5 公厘或者更粗的硬銅綫—0.0179 欧姆·公厘²/公尺。

現在, 苏联是用特別圓的銅綫制作漆包綫的。这种銅綫的表面应当非常均匀和光滑, 不得有斑点、起层、裂口、磨伤、擦伤、瑕疵和毛刺。在漆絕緣方面, 銅綫光滑的表面有着决定的意义, 因为由于漆膜很薄, 銅綫上較小的缺陷就能对其电气性质和机械性质发生极不良的影响。因此, 在電纜工厂里, 对于准备塗漆用的銅綫大都規定有特殊的补充技术条件, 这些技术条件对銅綫表面的要求更严格, 不許有任何髒污和氧化等缺点。在用普通盘条压延和拉取銅綫时, 可以发现盘条上有‘玫瑰皺’(盘条外表面起皺), 玫瑰皺下面的銅层里有小空隙和瑕疵。因此, 在其他各国, 在漆包綫車間对銅綫所进行的拉制加工有时还包括車削或刮削, 而拉制銅綫用的盘条也粗于苏联用的盘条。将盘条的玫瑰皺表面刨平, 会收到显著的成效, 因为在这种情况下, 出現斑点和缺陷的可能性已大大地减小。

根据ГОСТ B-2112-43, 在電纜工业里, 最細銅綫(直徑 0.09 公厘)的公差是 ±0.003 公厘, 直徑 0.10~2.83 公厘的銅綫的公差是 ±0.005 到 ±0.03 公厘。必須指出, 在塗漆过程中, 銅綫有被拉长的趋向。因此, 在补充技术条件里, 送往漆包綫車間的銅綫的負公差有时略小一些。

根据上述ГОСТ, 圓銅綫的瞬間抗張力和延伸率不得小于下表列举的数字:

表 1 圓銅綫的机械性质表

銅綫的直徑 (公厘)	瞬 間 抗 張 力		斷 裂 延 伸 率	
	牌号: MM (公斤/公厘 ²)	牌号: MT (公斤/公厘 ²)	牌号: MM (%)	牌号: MT (%)
0.09 以下	30	39	10	0.5
0.10~0.14			12	
0.15~0.24			14	
0.25~0.39			16	
0.40~0.59			18	
0.60~0.99	29	39	20	0.6
1.00~1.49			22	0.8
1.50~2.49			24	1.0
2.50~3.99			28	1.2

往車間送綫时所用包皮的种类, 以及銅綫各端头的长度都对漆包綫的质量有着巨大的意义。根据ГОСТ B-2112-43, 直徑 0.03~0.47 公厘的綫只应放在卷軸上; 直徑 0.48~0.59 公厘的綫既可放在綫卷上, 也可放在卷軸上; 再粗的綫通常只放在綫卷上。在卷軸上, 也像在綫卷上一样, 要纏住綫的一端; 在这种情况下, 卷軸上銅綫的重量应是 0.015~1.8 公斤。在綫卷上, 直徑为 0.6~3.99 公厘的銅綫, 在任何情况下都

不得輕于6~30公斤。

在导体上进行塗漆的特殊技术条件里，往往对导体的各端头处規定要增加重量。

另外，如果所用銅綫是未退火的，則無論其粗細如何，一律要用卷軸送往漆包綫車間。塗漆时，不使綫表面殘存乳状液是很重要的事情。因为裝置在漆包机上的专用刷子往往不能刷掉已干的殘存乳状液，所以用干燥的(无乳状液)出口鑢抽拉細綫是这方面最有效的措施之一。

苏联現在不用方銅綫制作漆包綫。以标准漆在这方面进行的試驗也还没有得到肯定的結果，因为在楞角上必不可免地会使漆膜破裂。

用維尼弗勒克斯(винифлекс)已制得了质量令人滿意的漆包綫。这方面的研究工作应当繼續进行；同时，除選擇适当的漆配方外，应用边緣較圓的方銅綫，无疑对此事的成功是有所帮助的。适当選擇方銅綫的圓角半徑乃是掌握方銅綫塗漆过程的最主要的工作。在美国的实际工作中，厚1.6公厘以下的方銅綫的边緣呈橢圓形，再粗的綫的圓角半徑是0.8~2.3公厘。另外，也像圓銅綫一样，方銅綫必須有清洁和光滑的表面。在这方面，使ГОСТ 434-41的某些要求更加严格，可能是必要的，因为这个标准許可断面超过一平方公厘的方銅綫有无銳角的小裂痕和曲槽等存在。显然，方銅綫只能在退火后制做漆包綫，因为未退火的方銅綫具有很大的彈性和硬度，因而会使工艺程序大大复杂化。

在导电率方面，对軟方銅綫的要求和对軟圓銅綫一样。

5 鋁 綫

用鋁綫制漆包綫，其数量是极其有限的(特种机器制造业所用的直徑0.11~0.15公厘的綫)。但在战时，某些欧洲国家的电机制造工业广泛应用着鋁制漆包綫，其直徑是0.2~3.0公厘。当然，这是因为該处的銅不够应用，鋁呈銀白色，属于輕金属。压延鋁的比重是2.7。由此可见，銅比鋁重2.5倍。鋁易于压延和延伸，但不如銅坚固。

根据标准 $\frac{\text{ОСТ}7941}{\text{НКТ11740}}$ ，做导綫和电纜用的鋁綫有两种牌号：AT——硬鋁綫(未經退火的)；AM——軟鋁綫(經過退火的)。这个标准上規定着，鋁綫的瞬間抗張力不得小于以下数字：

牌 号	直徑(公厘)	瞬間抗張力(公斤/公厘 ²)
AT	1~2	17
AT	2.01~4.5	16
AM	0.7 或者 0.7 以上	8

延伸率則不得小于以下的数字：

牌 号	直徑(公厘)	延 伸 率 (%)	牌 号	直徑(公厘)	延 伸 率 (%)
AT	1~2	1.5	AM	1.51~2.5	12
AT	2.01~4.5	2.0	AM	2.51~3.5	15
AM	0.7 ~1.5	10	AM	3.51 或 3.51 以上	18

按照標準，鋁線的比歐姆電阻不得大於 0.0295 歐姆·公厘²/公尺；這裏不分牌號是 AT 或 AM，因為軟鋁線和硬鋁線的導電率差別不大。

6 電阻合金

康銅(константан) 現在，蘇聯製漆包線用的電阻合金主要是康銅和錳銅(манганин)。康銅電阻線的外觀與銅線差不多。這種合金線是由含 Ni39~41%，Cu57.4~60%，Mn1~1.4% 的合金製成；可以是硬的(未經退火的)，也可以是軟的。根據 OCT 2722，軟線的瞬間抗張力應是 40~60 公斤/公厘²，硬線則不得小於 65 公斤/公厘²。在 20°C 時，硬康銅電阻線的比歐姆電阻應是 0.46~0.52 歐姆·公厘²/公尺，軟線的則是 0.44~0.49 歐姆·公厘²/公尺。康銅的歐姆電阻溫度係數近於零。這種合金可用來製造附加電阻、變阻器以及在任何情況下都不超過 500°C 的加熱器。由於能跟銅和鐵一起發生高度的熱電勢(跟銅一起的熱電勢是每 1°C 即有 $30\sim40\cdot10^{-6}$ V)，康銅合金線被廣泛地用來製造銅—康銅熱電偶，以及鐵—康銅合金熱電偶。康銅的退火(再結晶)溫度遠高於銅線。通常，直徑不大於 0.5~0.8 公厘的康銅電阻線應在 650~750°C 的溫度下退火，因此，康銅電阻線(以及錳銅電阻線)不可能在塗漆過程中退火。由於這種原因，直徑 0.15 公厘和大於 0.15 公厘的，康銅電阻線通常都在退火之後才送往漆包線車間。絕緣漆很易塗在康銅電阻線上，但導線的表面有着特殊的意義。導線應是光潔的，無斑點和毛刺的。通常，康銅電阻線是用捲軸送進漆包線車間，因為這種電阻線的直徑大都在 0.05~0.5 公厘之間。另外，由於康銅電阻線有彈性，從線圈上塗以較厚的漆是很困難的。製漆所用的、直徑為 0.05~1.00 公厘的康銅電阻線的公差應是 $\pm 0.005\sim\pm 0.03$ 公厘。

錳銅(манганин) 這種合金含有大量的錳(含 Cu 82.6~86.5%，Mn 11~13%，Ni2.5~3.5%)；由於成分特殊而呈青銅色，這就易於與康銅區別。

大量的錳銅都用來製造標準電阻和電阻箱。裸錳銅電阻線有硬的(牌號為 АПТ)，也有軟的(牌號為 МПМ)；同時，根據現行臨時技術條件 № 124，牌號為 МПМ 的退火錳銅電阻線的直徑應是 0.22 公厘，或者超過 0.22 公厘。

按照電阻溫度係數的大小，錳銅電阻線分為兩級：A 級——溫度係數是 $0.00003\sim 0.00004$ ；B 級——溫度係數不超過 0.00006。根據現行的技術條件，牌號為 МПМ 的錳銅電阻線的比電阻是 0.42~0.48 歐姆·公厘²/公尺，牌號為 МПТ 的錳銅電阻線的比電阻是 0.43~0.5 歐姆·公厘²/公尺。為了給錳銅電阻線的歐姆電阻以最大限度的穩定性，通常都要在製成之後對這種線進行熱處理(穩定化)；同時，在蘇聯的工廠裏，這種穩定過程常在盛有礦物油的特種浴鍋內進行。送入漆包線車間的往往是直徑 0.05~0.5 公厘的錳銅電阻線，其公差應在 $\pm 0.003\pm 0.02$ 公厘以內。在外觀以及送往漆包線車間時所用的包皮方面，錳銅電阻線與康銅電阻線一樣。通常，送往漆包線車間的都是經過穩定化，並放在鐵圓板或鋁圓板上的錳銅電阻線。

7 桐油

桐油又叫木油 (древесное масло), 直到最近還極廣泛地用來製造漆包線。桐油是從桐樹種子裏取得的。桐樹原產於中國和日本, 到 1930~1931 年, 蘇聯才第一次大量栽培桐樹[在高加索海岸的蘇胡姆 (Сухум)——巴士姆 (Батум) 等地區]。近年來, 這種工作已經擴大, 在衛國戰爭年代裏, 蘇聯的電纜工廠已順利地開始用自己的桐油來做漆包線。進口桐油的成分由於桐樹生長地區不同而略異, 但其質地畢竟是十分相同的, 因為都含有 82~85% 的桐油酸, 約 4~5% 的飽和酸甘油酯和其他油酸 (約 10~12.5%)。

桐油酸的化學式和分子結構在前面已經講過。因為桐油酸含有三個相鄰的雙鍵, 所以桐油很容易聚合, 並能在加熱時凝固。在光的作用下, 會稍微改變桐油酸的物理性質; 特別是會使其熔點增至 $+72^{\circ}\text{C}$ 。這是因為桐油酸往往是兩種同分異構物—— α 酸和 β 酸, α -桐油酸會由於光的作用而變為 β -桐油酸。在零度時, 桐油開始結晶, 並逐漸凝固。桐油的成分使桐油具有很高的乾燥速度。例如, 在空氣中, 薄塗在物體表面上的一層桐油會於 1.5~3 日內乾燥; 但其他的油, 甚至亞麻油也需要 3~6 天才會乾燥。這裏需要指出, 桐油膜體的乾燥是從底部到表面, 同時, 甚至在膜體形成之後也可以發生氧的化合。除能氧化以外, 桐油還容易在無氧介質中自動聚合 (самополимеризация), 這是桐油與其他各種油的很重要的區別。以桐油取得的漆膜, 也像亞麻油膜體一樣, 加熱時不熔化, 但在溫度超過 270°C 時開始慢慢碳化。如使非精製桐油乾燥, 則所形成的膜體混濁不清, 這是因為上面已經講過的, (粗桐油) 在光的作用下桐油酸異構化的緣故。預先經過聚合 (用加熱方法) 的桐油則會形成有光澤的膜體, 這樣的膜體具有許多寶貴的性質 (堅硬、有彈性、耐鹼等)。此外, 將桐油跟亞麻油摻混也會使膜體性質良好和不混濁。顯然, 形成混濁表面的桐油小晶體會在加入亞麻油時增大, 以至於使結晶體的邊緣融合, 因而消除表面的混濁性。還須指出, 桐油在加熱時容易膠凝, 同時膠凝溫度與加熱時間有關 (見圖 3)。

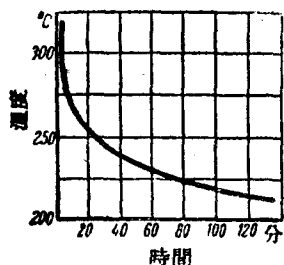


圖 8 桐油的膠凝曲線。

加入亞麻油可減少膠凝的危險。如果桐油常須跟亞麻油摻混使用的話, 那末上述一切都是製漆包線所要注意的事項。

電纜工廠對進口桐油的要求大致如下:

1. 顏色是金黃色到褐色。
2. 在 20°C 時, 比重是 0.935~0.943。
3. 酸價不超過 8。所謂酸價就是中和油內或樹脂內

游離脂肪酸或樹脂酸所需的苛性鉀的毫克數。由此可見, 酸價表示着油內含有若干的游離酸。一般說來, 酸價越小, 則油的品質越高。

4. 鹼化係數 190 ± 10 。鹼化係數 (鹼化價) 就是使全部酸中和 (游離狀的和結合狀的) 所需的苛性鉀的毫克數。鹼化價的降低表明了油內存在着不鹼化物 (烴類 углево-

дороды 等)。

5. 以久布里法(Гюбль)測出的碘價不小於160。

6. 不含礦物油。

7. 含水量——微量。

8. 加熱至 282°C 並保持這種溫度的桐油，應在不早於 9 分鐘和不遲於 12 分鐘的時間內凝固。

9. 在 25°C 時，光的折射係數規定為 1.515。光的折射係數(光的折射)與脂肪酸的結構有關，油內不飽和酸越多，則折射係數越大。此外，折射係數也與雙鍵的分佈狀況有關。

蘇聯桐油與進口桐油不同之處，首先就是桐油酸含量略小，而油酸和飽和酸含量相應地略高(13~14%，其中飽和酸達 6~7%)。因此，按照電纜工業的技術條件，蘇聯桐油的比重應在 0.930~0.946 之間，碘價不小於 150。研究工作證明了新製出的蘇聯桐油的酸價是 1.0~2.5。長期保管會使桐油的酸價增加。因此，根據上述的技術條件，未經長途運輸和未在倉庫保管過的蘇聯桐油，也像進口桐油一樣，酸價不應超過 4~5。由於高加索桐油的成分與進口桐油略有不同，所以與用進口桐油製成的漆相比，以高加索桐油和亞蘇油製成的漆的乾燥速度略低。在這方面，有一個蘇聯工廠的研究工作已經證明了，只要在漆內應用預先加過工(以煮煉法使之聚合)的蘇聯桐油，則就會得到良好的結果。應用這種桐油的漆會在一般塗漆速度下形成品質十分良好的漆膜。

有時，電纜工廠會得到酸價極高的桐油。這種桐油不適於製做漆。如用 190°C 的溫度與 5% 的醋酐一起加熱，那就會使這種桐油的酸價降低並達到標準的數值。中央電纜實驗所的研究工作證明了，以這種桐油所製成的漆膜的品質是令人滿意的。

8- 亞蘇油

與桐油一樣，亞蘇油直到最近還是做漆包線所用的最重要材料之一。亞蘇油是從一年生植物——亞蘇的種籽裏取得的。蘇聯的亞蘇生長在氣候溫和的地區和南方各地區。

通常以熱壓法從亞蘇籽取得的鮮亞蘇油，它基本上是由脂肪酸甘油酯所組成的。此外，也含有少量的游離脂肪酸、蛋白質、灰分和水。蛋白質是對油漆業完全有害的雜質。脫除蛋白質的方法有兩種：一種是長時期的沉澱；另一種是把亞蘇油迅速加熱至 300°C，這時會使蛋白質變為雪片狀的沉澱物。這種沉澱物的重量很小(0.5% 以下)。這樣製過的油叫做製過油(加過熱的)或製漆油(沉澱過的)。另外，亞蘇油還含有少量的水分(不超過 1%)、灰分(0.04~0.1%)、甘油殘基(4.1~4.6%) 和 0.5~1.5% 的不鹼化物。由此可見，脂肪酸甘油酯是亞蘇油的主要組成部分，同時飽和酸(軟脂酸和硬脂酸)甘油酯佔油重 7~8% 而不飽和酸(油酸、亞蘇酸和次亞蘇酸)甘油酯佔油重的 85%。必須指出，許多次研究的結果證明了在亞蘇油內，上述各種不飽和酸甘油酯含