

成都工學院圖書館

356801

基本館藏

涂珐琅钢与铸铁

〔苏联〕И·Н·尤卡洛夫 著

杨惠华 陈增凯 译



中国工业出版社

76127
323

本书提出了有关涂珐琅鋼和鑄鉄的資料。对决定于鋼和鑄鉄质量的珐琅的主要几种缺陷的形成原因作了研究。书中还研究了涂珐琅鋼和鑄鉄的成分和物理机械性能。阐明了获得优质涂珐琅生鉄鑄件的条件。

本书供工厂和研究室的熟练工人和技术人員閱讀。

И. Н. Юквлов
СТАЛИ И ЧУГУНЫ ДЛЯ
ЭМАЛИРОВАНИЯ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ—1961

* * *
涂 珐 琅 鋼 与 鑄 鉄
杨惠华 陈增凯 译

*
冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯
(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版 (北京德勝門外大街10号)
北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行、各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $3^{13/16}$ ·字数96,000
1964年9月北京第一版·1964年9月北京第一次印刷
印数0001—2,420·定价(科六)0.65元

*
统一书号: 15165·3048 (冶金-503)

目 录

引 言	1
第一章 涂珐瑯用的 鋼	4
关于底瓷与金属附着的概念	4
对涂珐瑯鋼及制品的要求	8
鋼的机械性能与物理性能	10
鋼的化学成分	15
鋼的显微組織与低倍組織	18
氢对珐瑯质量的影响	22
钛合金鋼	25
鋼的試驗方法	30
高合金鋼	32
第二章 涂珐瑯用的 鑄鉄	34
鑄鉄的质量及其应用范围	34
鑄鉄用的 珐瑯	37
各种因素对珐瑯与鑄鉄附着的影响	38
鑄鉄制品的涂珐瑯准备	40
鑄鉄的組織形成	42
涂珐瑯时鑄鉄的热膨胀和松眼	43
鑄鉄的化学成分	48
鑄鉄的組織	75
鑄鉄的氧化物和气体对珐瑯质量的影响	91
鑄鉄的机械性能	100
第三章 鑄件結構和涂珐瑯鑄件的 制造工艺	102
鑄件結構	102
鑄鉄的冶炼	102
造型	103
模型澆鑄和鑄件脱模	107
鑄件中的缺陷及其对珐瑯的影响	108
参考文献	112

引 言

技术不断的发展要求采用新的工艺过程，从而也就有必要采用可以在各种介质中耐蚀的材料来制造设备。

为此目的采用稀有金属与高合金钢，在大多数情况下是不经济的。

防止金属的腐蚀与形成铁鳞，主要是采用各种涂层。金属的涂珐琅是主要的防蚀方法之一。

珐琅是一层薄薄的涂在金属制品上的成分复杂的玻璃。由于采用了化学稳定的玻璃，坚固的金属制品表面就避免了氧化。涂珐琅制品的光洁的表面、美观的外形、价廉的原材料以及高的使用寿命，这些都是涂珐琅的优点。

在大多数情况下，价廉的涂珐琅金属（钢、铸铁）可以代替价格昂贵的高合金钢、稀有金属与贵金属。

金属的涂珐琅产生于古代。最初它是用在装饰上，后来用在日用品及卫生工程设备上。

钢与铸铁的涂珐琅产生于十八世纪的后半期〔1,2〕。但钢的涂珐琅得到广泛的发展是在上一世纪的后半期——随着利用碱性平炉炼制低碳钢而开始的〔3,4〕。

在俄国，珐琅的生产是在上一世纪八十年代开始的，而只是到该世纪末才具有工业生产规模〔5,6〕。

珐琅生产现在已发展成一个大型的工业生产部门。如1924年在德国，仅仅涂珐琅的铸铁制品产量就占九万吨。1953年在英国，涂珐琅制品的产量为十万吨〔1〕。

苏联在战前时期只有几十个生产涂珐琅的熟铁与铸铁制品的工厂。卫国战争以后，用最新技术装备起来的大型新工厂（其中包括制造涂珐琅的化工设备工厂）投入了生产。这一时期涂珐琅的钢制品产量比1940年增加了九倍，涂珐琅制品的使用范围也显

著扩大。现在，用涂珐琅的钢与铸铁所制造的物品除了家庭日用品以外，其中涂珐琅的耐酸设备、卫生工程设备、建筑用品、油槽车、车厢、管件及水管的产量也是越来越多了。在航空及其他工业部门，涂耐热珐琅的制品生产都有了扩大。耐热涂层可以用来保护在高温（达 1000° ）条件下工作的金属，使其免受晶间腐蚀；或是为了在相同条件下利用各种非合金钢〔7~10〕，以代替成本昂贵的高合金耐热钢。

现在制造涂珐琅制品的主要金属是钢与铸铁。

根据对制品提出的技术要求确定钢与铸铁用的珐琅成分。各种珐琅的基质是二氧化硅。例如，耐酸珐琅主要组分的含量范围（%）是： SiO_2 55~65； TiO_2 0~8； ZrO_2 0~5； Al_2O_3 2~5； B_2O_3 2~7； Na_2O 10~20； K_2O 3~8； CaO 、 CaF_2 、 MgO 等均为5以上〔11〕。

和玻璃类似，珐琅是用石英砂、长石、碳酸钠、硼砂、碳酸钾、硝酸钾及其他配料熔合成的。为了得到不透明的珐琅，须加入所谓的腊化剂及颜料；为了使珐琅牢固附着，须加入某些金属氧化物。

将炉内熔制好的熔合物注入水中，由于在水中骤然的冷却，该熔合物就分裂成碎块——颗粒。在加入水、粘土和其它材料并将颗粒磨碎以后，就获得一种液体物质，称作珐琅浆。将珐琅在制品表面上涂成均匀的薄层，干燥，然后在 $700\sim 900^{\circ}$ 温度通过烧制使其固着。在烧制过程中，附着在制品上的珐琅微粒彼此熔合，形成一层密实的玻璃状涂层。

在制造涂珐琅的铸铁与钢制品时，一般是涂两种珐琅——底瓷与表瓷。

底瓷（或称底珐琅）直接涂在金属上。表瓷涂在底瓷上。表瓷一般是涂两道，有时也涂三道。

每一层珐琅在涂好以后，均须在炉内于 $800\sim 900^{\circ}$ 的温度加以烧制。因此金属在涂珐琅的过程中经过多次高温加热与冷却；金属的性能与质量发生变化，珐琅的质量也就受到影响。

涂珐琅比金属防蚀的其它一些方法优越，由于具有这种优越性，涂珐琅制品的使用范围不仅能够得到进一步扩大，而且它的生产规模还能得到扩大。但是，在得到密实的涂层方面，直到现在还存在着很大的困难。在各个生产工序上珐琅涂层中都会出现缺陷，这就会降低制品的产量和阻碍珐琅制品生产的发展。

参与涂珐琅过程的是金属-底瓷与表瓷的多组分系统。所以，珐琅制品的质量及其使用期限都要取决于金属的性能与成分、珐琅涂层的性能及其涂抹方法。

专家们一致认为，金属的性能是关系到珐琅制品质量的决定性因素之一〔2,3,12,13,14〕。

现在，涂珐琅的技术已经有了很大的进步，有关珐琅与涂珐琅工艺也有了大量的文献资料。至于谈到涂珐琅用的金属（特别是铸铁）的质量，那么这个问题在文献中还阐述得不够，这还未能满足生产珐琅制品的企业的要求〔15〕。

因此就有必要整理和总结一下已有的有关涂珐琅金属的性能与质量的资料，这也就是本书的目的。

书中把有关涂珐琅钢与铸铁的质量和性能的现代资料进行了系统整理，这些资料主要是发表在杂志上的。对取决于金属质量的珐琅涂层主要几种缺陷的形成原因，提出了一些研究成果。最后还规定了涂珐琅钢与铸铁的牌号以及这种生铁铸件的铸造条件。

本书是对涂珐琅金属的性能及质量的有关资料进行系统总结的初次尝试，所以显然是不会没有缺点的，因此，作者对各种批评意见都表示感谢。

第一章 塗珐瑯用的鋼

通常采用軟鋼板作为塗珐瑯用的原材料，鋼板的质量直接影响到塗珐瑯制品的质量及其价格的降低。虽然这种鋼的质量已經有了系統的改进，但当塗珐瑯时有时在鋼板上还会出现缺陷。同时，由于鋼质量不合格引起的珐瑯涂层上的許多缺陷，往往是在制品最終燒制好后才显现出来，或者是在其保管与使用期間才显现出来。

与鋼质量有关的珐瑯缺陷的产生原因，一直是研究的課題，但所得的研究成果还不充分，因此直到現在其中还有許多缺陷未能加以消除。不但如此，由于近几年来对珐瑯质量的要求不断提高，根据国外的资料得悉，在鋼板塗珐瑯时，遇到的困难和缺陷数量还有所增加^[16~19]。

珐瑯的缺陷是各种各样的，但主要的缺陷是由气相形成的（燒蝕、气泡、孔隙等）。

缺陷产生的原因基本上已查明，但还有一些未解决的問題，例如，氢在金属中的作用就是一例。

对塗珐瑯鋼的化学成分与性能，冶炼和加工处理的方法，都提出了又高又全面的要求。对于塗珐瑯制品的生产工艺的要求也是如此。

現在我們就来研究一下鋼的性能、成分与质量以及塗珐瑯鋼制品的制备問題。

关于底瓷与金属附着的概念

底层珐瑯應該与金属牢固地附着，并且能經受住溫度的变化与机械作用的影响，制品在生产与使用的过程中就会遇到这些情况。珐瑯与金属的附着力基本上是由金属的性能来决定的。为了了解金属的这一作用，下面就来闡述一些有关珐瑯与金属附着的

最普通的理論，在文献〔12,20~23〕中对这些理論曾作了詳細的分析。

珐瑯与金属的机械附着理论 珐瑯渗透到金属面的深处并且純机械地保持在其中。制品的粗糙表面是用各种不同的方法得到的，如鋼制品在涂珐瑯前酸洗、鑄鉄制件的噴砂处理、珐瑯內加入附着性氧化物等等。图1表示珐瑯渗入鑄鉄孔隙內的情况。



图1 鑄鉄—珐瑯間界；浸蝕的磨片， $\times 440$

金属的树枝状晶体形成理论 现已查明，仅在珐瑯烧制了一段相当长的時間以后，或者当它含有附着性杂质时，珐瑯才与鋼板附着，通常采用氧化鋳、氧化鈷、硫化砷及硫化錒作为附着性杂质。

根据金相、 x 射綫照相及岩相学研究的結果，有些作者〔24, 25〕认为，在烧制及冷却时，溶解于珐瑯內的鉄的氧化物形成 α -鉄树枝状晶体，这种 α -鉄树枝状晶体与珐瑯和金属牢固附着。

琺瑯內的氧化物含量越大，“ α -鐵樹枝狀晶體”的形成過程也就越強烈，附著的強度也就增大。

有些研究者〔26〕認為，樹枝狀晶體不僅是由鐵構成的，而且也是由氧化物被氫還原出的鈷或鎳構成的。在鐵的表面上還形成混合結晶體（如鐵鈷晶體），並且它們也與鐵及琺瑯牢固地附著。某些數量的鐵的氧化物也同時被還原，並形成樹枝狀晶體，使琺瑯與金屬的附着力加強。對燒制正常的含有附着性氧化物的琺瑯底層—鐵間界區所進行的電子顯微鏡研究表明，不存在樹枝狀晶體〔27,28〕。

氧化鐵中間層理論 未溶解於金屬中的琺瑯底層通過氧化鐵中間層與金屬附着〔29〕，這種氧化鐵是當燒制製品時在金屬表面呈一層薄膜形成的。該薄膜的一面牢固地附着在金屬上，其另一面與琺瑯結合。已經查明，如果製品表面完全被拋光，並且沒有氧化物薄膜，那末底瓷與製品附着得不好。在氧含量不足或含有還原性氣體的气氛中進行燒制時，發現了這種現象。

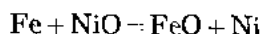
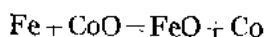
電化學理論 在熔融的琺瑯中發生電化學過程。有些人認為〔30, 31~37〕，附着性氧化物於燒制溫度時被鐵還原，並在鐵上形成緊密附著的沉淀物，這種沉淀物呈金屬的樹枝狀晶體，或金屬與鐵的合金的樹枝狀晶體。這些沉淀物（例如鈷和鐵的沉淀物）形成閉合微電池，成為鋼表面長期腐蝕的根源。由於這樣，鋼的表面變松散，上面出現了凹凸不平，琺瑯就牢固地附着在這些凹凸不平處。

圖2是塗有底瓷的鋼板斷面，（a）的底瓷含有氧化鈷，（b）的底瓷不含氧化鈷。在（a）圖中可以清楚地看出受腐蝕的鋼的粗糙表面；在（b）圖中金屬表面是不平整的。

以後在研究琺瑯內鐵的氧化物的形成及溶解機理時，查明形成的鐵鱗在琺瑯漫流後就被金屬鐵還原成 FeO ，並以 FeO 的形式溶解於熔融物中。起初溶解速度很快，以後隨着琺瑯飽和度的增大而減慢。在燒制時，由於鐵的氧化物溶解，底瓷的膨脹系數從 $250 \sim 280 \times 10^{-7}$ 增大到 385×10^{-7} ，即接近於鐵的膨脹系數（400

$\sim 420 \times 10^{-7}$)。

比鉄貴重的金屬的氧化物都是良好的附着劑。鉄將鈷和鎳由其化合物中取代出來的反應式如下：



同時，根據已知的金屬電解活性，金屬按照以下的遞減順序排列：K, Na, Ba, Ca, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Sn, Pb, Cu, Sb, Bi, Hg, Ag, Pt, Au，其中每一種金屬可以將後面的金屬從其鹽類中取代出來。

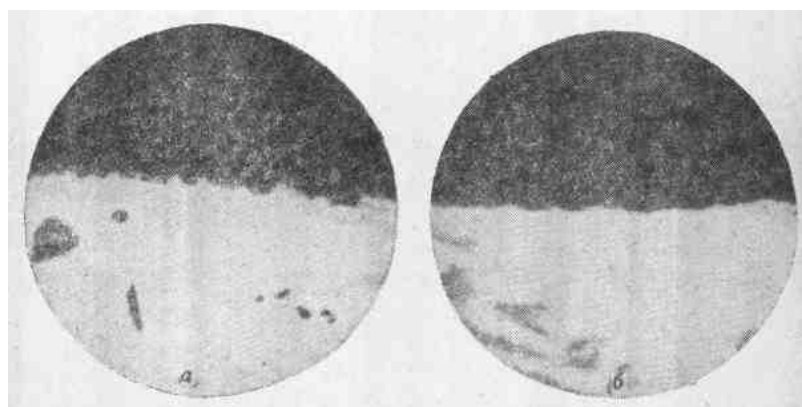


圖 2 塗有底瓷的鋼板斷面

a—含氧化鈷；b—不含氧化鈷

與比鉄貴重的其它金屬相反，鈷和鎳的氧化物幾乎不被氧化亞鉄還原，而只是被金屬鉄還原，並同時在其表面上形成沉淀物。因此，這些氧化物僅在濃度不大時發生作用。

關於琺瑯與金屬附着的原因，還存在着另外一些意見。例如：（1）附着性氧化物把琺瑯的膨脹系數提高到接近於鋼的膨脹系數；（2）氧化鈷減低熔融物的表面張力並改善潤濕作用；（3）形成氧含量低的硅酸鹽，將鉄劇烈地破壞；（4）鉄鱗溶解於琺瑯內，並與琺瑯熔融物內和金屬表面上的鉄鱗的氧化合。

根据以上假說可以肯定，金属与珐瑯結合的强度除了要取决于珐瑯的成分与性能以及金属的性能以外，特别是要取决于这些性能适合于疏松粗糙表面的形成条件，这种表面大概与金属的选择性腐蚀有关。由此可见，涂珐瑯鋼的組織必須具有形成一定厚度的氧化鉄薄膜的能力，这一能力决定于鋼的成分和組織——它的腐蚀性能。此外，金属与珐瑯的热膨胀系数首先取决于鋼的成分，它們的热膨胀系数應該有一定的比例关系。

对涂珐瑯鋼及制品的要求

在涂珐瑯前，将金属表面进行預加工，以便消除制品表面的非金属夹杂物，因为在污染的表面（油斑、砂子、熔渣、盐等）上会形成带孔的珐瑯层。

主要是采用脫脂、退火、然后酸洗的方法来清理表面。脫脂就是把金属表面的油脂去掉，其方法是进行化学处理（利用溶剂或硷），或是将制品进行退火（热处理脫脂）。

制品退火时，除了有机污染物被清除以外，应力也被消除。应在 $600\sim 800^{\circ}$ 时进行退火，温度再高便会形成一层很牢固的鉄鳞，很难将它从制品上清理掉。

厚壁鋼制品（化工設備）应在較高的温度下进行退火。为了得到易于酸洗掉的較疏松的鉄鳞，制品在退火前用 5% 的盐酸溶液进行噴洒。

在氧化性气氛的炉内进行退火。脫脂以后牢固附着的鉄鳞和鉄锈用稀硫酸或稀盐酸溶液酸洗清除。

鉄鳞的溶解速度取决于溶液的浓度与其温度。沉积在制品表面上的鉄鳞应仔細加以清除。

在酸洗过程中，金属溶解时有氢气析出，其中一部份氢溶解于金属中，在涂珐瑯的过程中这一部份氢从金属中析出，使珐瑯形成缺陷。

为了清除退火后的鉄鳞，我們一些工厂在实际工作中不用酸洗法而采用噴砂处理来清理鋼制品，它的效果良好，因为鋼不会

被氢或铁的盐类饱和。为此，研究了利用保护气氛退火的可能性〔22, 38〕，在这种情况下可以只作一次退火操作；金属在同一个操作过程中表面发生脱碳，这同样是重要的。

在烧制时，制品可能会发生翘曲，或者在底瓷中产生缺陷。

弯曲了的制品在热状态下加以矫正，珐瑯涂层破损的地方应再次涂上珐瑯，然后将制品再次进行烧制。

涂珐瑯用的钢制品采用焊接法或冲压法制成。

此时，制品应该满足以下基本要求：

1. 制品的壁厚应一致，壁厚不仅应该根据使用条件来决定，而且还应该根据制品在涂珐瑯过程中的烧制条件来决定，同时制品的形状应尽可能简单；

2. 钢制品与其各个部分的形状须便于涂珐瑯，在计算形状时，应该保证在涂珐瑯过程中的四次或五次高温烧制时的翘曲度最小；

3. 制品结构内不得有锐角和半径太小的圆角；

4. 焊缝应该密实并经过仔细清理；

5. 制品表面上不得有裂缝、凹穴、砂眼及划痕〔3, 12〕。

上述这些要求决定了涂珐瑯制品用钢的牌号、性能和质量。这些钢的种类如下：普通涂珐瑯钢—深拉用钢、低碳涂珐瑯钢、含钛钢、合金钢。

制造涂珐瑯钢制品最常用的材料是酸洗软钢。低碳钢与合金钢用得少些，屋面铁板只是用在焊接制品上。含钛合金钢是战后的一项技术成果，在很多国家中，这些钢用来涂单层珐瑯，而不涂中间底瓷层，但直到最近这些钢只在少数工厂中得到使用。

大部份制品是利用深拉冲压法制成。某些研究者〔3, 12, 21〕指出，适于深拉的钢一般在涂珐瑯时不会产生缺陷。

在制造焊接制品时，焊接质量有着特殊的意义。试验表明，珐瑯涂层的缺陷常常位于焊缝部位上，所以焊缝应该密实无孔。焊缝的锻实会产生良好的效果。在焊条中不应该含铜，使用工业纯铁焊条的效果最好〔39〕。对涂珐瑯用的钢板提出的要求是多

方面的。这种鋼應該具有以下性能：

1. 涂珐瑯鋼的化学成分和組織都應該均匀；杂质含量應該在一定的範圍內；在鋼板表面不應有不均匀、夹杂物、裂口、夾层、气泡、砂眼、偏析聚集物或偶然聚集物（特別是珠光体或渗碳体聚集物）；
2. 燒制时在鋼上應該形成均匀的鉄鱗层，鋼的酸洗与清理應該迅速均匀进行；
3. 鋼的厚度應該均匀，并且應該經受住拉伸、冲压及焊接时的应力；在涂珐瑯时，無論是在鋼板經過成型、拉伸或深拉的部位上，或者是在未經成型的部位上，都不應該出現缺陷；
4. 鋼的气体含量應該最小，特別是氢；在酸洗时，鋼儘可能少吸收氢；
5. 焊接时，鋼不應該产生裂縫和裂口；
6. 鋼的膨胀系数應該在一定的範圍內〔2, 3, 12, 40〕。

鋼的机械性能与物理性能

涂珐瑯制品最常用的鋼是平爐鋼板，技术要求由相应的标准加以規定。

在我国，涂珐瑯的普通制品是采用酸洗鋼〔41●〕制成的。酸洗就是在軋制过程中用5%的硫酸溶液將鋼浸蝕，随后在900~950°的溫度下进行退火，酸洗能使鋼得到清洁的沒有鉄鱗的表面，同时使鋼具有較高的可涂珐瑯性。其余品种較高的鋼用来制造要求特別高的特种制品。

酸洗鋼的特点是韌性大；这种鋼應該經受住180°弯曲試驗，試驗时垫板的厚度等于鋼板厚度的两倍，随后在弯回到原来状态时不出現裂口或起鱗。

● 同样見ГОСТ1386—47, 8075—56。

表 1 中的数据是相应厚度的一级钢板在杯凸试验时的月牙凹最小允许深度。

月牙凹深度与钢板厚度的关系

表 1

钢板厚度, 毫米	月牙凹的最小深度, 毫米	钢板厚度, 毫米	月牙凹的最小深度, 毫米
0.25	6.9	0.90	9.6
0.30~0.35	7.2	1.0	9.9
0.40~0.45	7.5	1.15	10.2
0.50~0.55	8.0	1.25	10.4
0.60~0.65	8.5	1.50	11.0
0.70~0.75	8.9	1.75	11.4
0.80	9.3	2.0	11.8

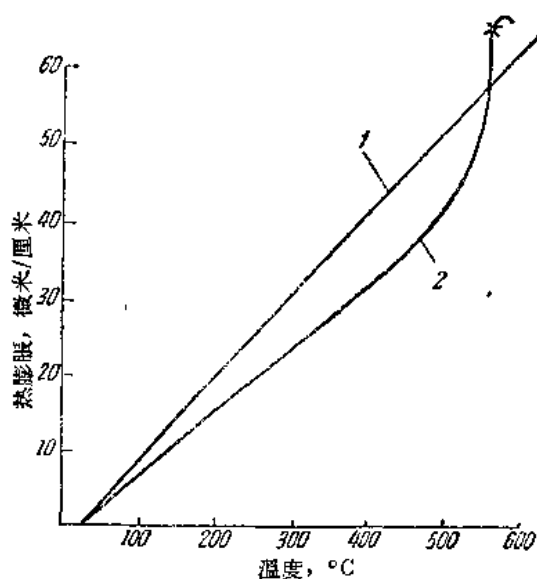


图 3 珐瑯与金属在加热时的膨胀

1—鋼; 2—珐瑯

在涂珐瑯生产中应用最广泛的鋼的机械性能数值应该符合以下指标:

布氏硬度 H_B , 公斤/毫米 ²	80~100
屈服点, 公斤/毫米 ²	15~30
抗拉强度极限, 公斤/毫米 ²	30~35
断裂延伸率, %	30~40

热膨胀 热膨胀指标是珐瑯与金属的最重要性能之一, 因为它们的膨胀系数的差别是珐瑯层中应力的产生和发展的主要原因之一。由于珐瑯的抗压强度比抗拉强度大九倍和九倍以上, 所以压力比拉力的危险性小, 因此在实际工作中一般使用膨胀系数通常比金属的要小些的珐瑯。

随着温度的升高金属与珐瑯的热膨胀的差别参见图 3。珐瑯层内所产生的应力值取决于珐瑯与金属膨胀曲线的差数。

珐瑯与金属的不同点是珐瑯的体膨胀系数大 ($260 \sim 360 \times 10^{-7}$) [42]。

尽管底瓷与金属的热膨胀系数不同, 但它们之间的附着仍很牢固, 这是由于在烧制过程中因铁的氧化底瓷的成分与其热膨胀系数发生变化所致。

根据参考文献 [40], 涂珐瑯制品生产中所用软钢在 $100 \sim 900^\circ$ 温度范围内的热膨胀系数为:

0~100°—— 352×10^{-7}	0~600°—— 428×10^{-7}
0~200°—— 370×10^{-7}	0~700°—— 433×10^{-7}
0~300°—— 391×10^{-7}	0~800°—— 425×10^{-7}
0~400°—— 407×10^{-7}	0~900°—— 361×10^{-7}
0~500°—— 421×10^{-7}	

为了牢固地附着在金属上, 珐瑯涂层须在温度 950° 以下烧制两次或三次, 这时软化了了的钢可能经受不住自重的压力或翘曲 (金属出现弯曲或翘曲)。

钢在高温时的弯曲和翘曲在涂珐瑯时影响很大。这些缺陷有时是金属与珐瑯的热膨胀系数不同引起的, 有时与钢的组织有关。

含碳量不超过 0.1% 的软钢可以具有珠光体与铁素体组织。

鋼加熱到臨界溫度時，發生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 同素異形組織轉變（圖4），在這種轉變溫度時鋼的熱膨脹系數約增大到十倍，這一點特別重要。同時，鋼的強度也降低；在這樣的溫度塗珐瑯時，將會發生翹曲及彎曲，大尺寸的制品尤其是這樣〔2、43~45〕。

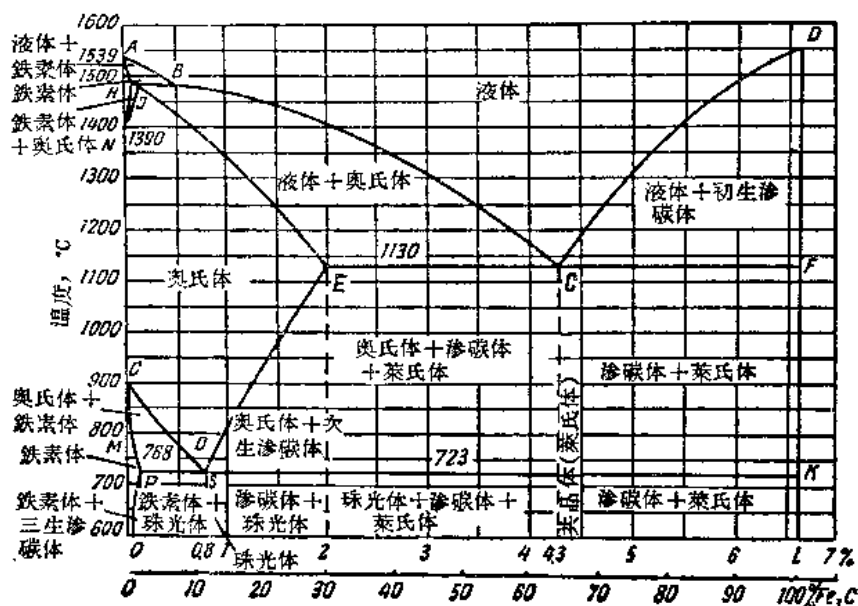


圖 4 鐵碳相圖

由鐵碳狀態圖中可以看出，鋼的含碳量越大，體積轉變溫度就越低（圖5）。在含碳量為0.3%的鋼中，大約在780°時發生同素異形轉變；在含碳量為0.05%的鋼中，在880°時才發生這種轉變。

因此，鋼的含碳量越多，或者珐瑯塗層的燒制溫度越高，就越有可能產生翹曲（圖6）。因此，塗珐瑯工願意使用含碳量最低、臨界轉變溫度最高的鋼，並且願意在溫度低於這種轉變溫度的情況下塗珐瑯，這種意圖是可以理解的。這時制品在塗珐瑯過程中的翹曲度減小。

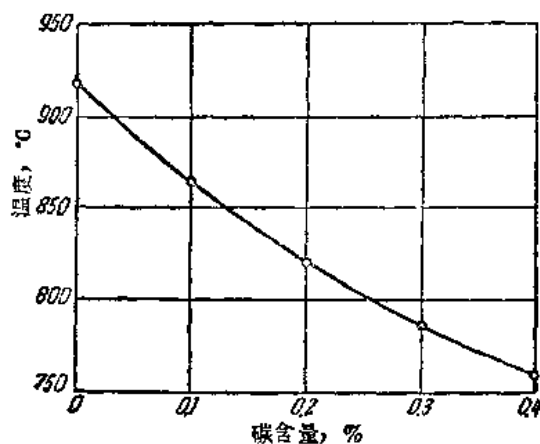


图 5 临界点 A_3 位置与含碳量的关系

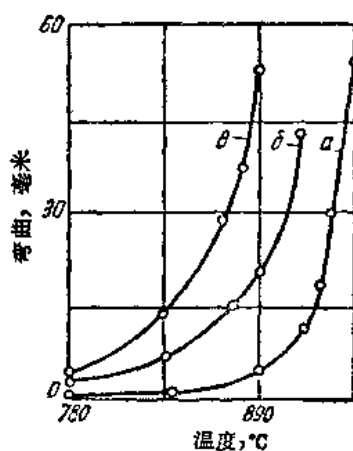


图 6 含碳量(%)对厚度为0.8毫米的钢板弯曲量的影响:

α —0.017%; β —0.034%;
 γ —0.065%

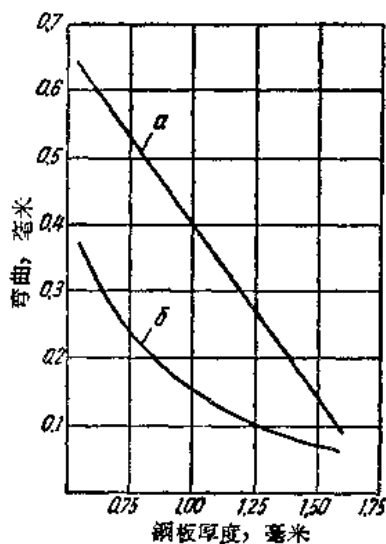


图 7 纯铁板(α)与含钒钢板(β)的厚度对加热到温度 870° 时的弯曲量的影响