

5032

感应加热气体渗碳

A·Д·阿松諾夫 K·З·謝佩利亞科夫斯基 П·А·兰金著

白云昭译

中国工业出版社

本书叙述用高频电流加热时气体渗碳过程的实际情况。初次收入了经过实际检验、适用于成批处理齿轮的资料。同时，详细叙述进行渗碳过程的条件，以及齿轮成批生产用的装置。

本书可供有关的工程技术人員参考。

А. Д. Асенов, К. З. Шепеляковский, П. А. Ланкин
ГАЗОВАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ
МАШГИЗ 1958

* * *
感应加热气体渗碳

白云昭译

*
机械工业图书编辑部編輯 (北京苏州胡同141号)

中国工业出版社出版 (北京修门内大街10号)

(北京市书刊出版事业许可出字第110号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $2 \frac{5}{8}$ · 字数 56,000
1963年8月北京第一版·1963年8月北京第一次印刷

印数 0,001—3,624 · 定价 (10-6) 0.44 元

*
统一书号: 15165 · 2284 (一机-482)

序 言

渗碳处理是承受磨損的鋼件表面硬化最常用的方法之一。

这种方法的发展历史可回溯至远古时期，当时主要用炭、骨髓、皮革等固体有机物质作渗碳剂。

气体渗碳首先在俄国为著名的冶金学家阿諾索夫(П. П. Аносов)于1837年在茲拉托烏斯特工厂所采用。然后，只是在廿世紀初，此法才在美国获得实际应用，而在廿年代才由莫斯科中央机器制造与工艺科学研究院开始加以研究。

在明克維奇(Н. А. Минкевич)教授的指导下，在伊里因斯基(С. К. Ильинский)教授、普羅斯維林(В. И. Просвирин)教授、穆亞索也多夫(А. Н. Мясоедов)工程师的直接参加下曾对鋼件在从石油产物中得到的富含碳氢化合物的气体介质中的渗碳过程进行了研究。

在三十年代，在編制莫斯科汽車厂热处理車間的改建設計书时曾經采用了气体渗碳法，而且首先在苏联于1936年創制了以煤油热解热裂气体作渗碳剂进行零件渗碳用的装置。

气体渗碳是在連續式馬弗炉中进行的。

气体渗碳在生产中的应用，改善了工作条件，实现了零件装卸和运送的机械化及自动化。

在气体渗碳过程的基础上，随后也研究成功了渗碳零件的直接淬火法，这就大大地簡化了热处理的工艺过程，同时还降低了处理的費用，改善了零件的质量。

新的工艺过程——气体渗碳并直接淬火——要求冶炼出新牌号鋼。这种牌号鋼具有与渗碳后无需再次加热相适应的特点。

莫斯科汽車厂与汽車发动机科学研究所共同研究成功的18XГТ牌号鋼符合于在馬弗炉內加热时气体渗碳工艺的要求，在

淬火前不需要再次加热。

1947年，在该厂开始了利用高频电流加热进行零件气体渗碳的研究。

这项工作，在1953年完成，使第一台工业用装置应用到了生产中去。

新的渗碳过程能保证大大地提高劳动生产率，降低成本，改善零件的质量。

这一工作的主要意义在于为渗碳时实际应用大大超过 A_{c3} 点的温度（达 $1150 \sim 1200^\circ$ ）创造了条件。这就在科学面前提出了一系列新的问题，而其中大部分是到目前为止尚未充分研究过的。属于这类问题的有：提高渗碳时的加热温度对钢的渗碳层的组织、晶粒的大小、碳化物的溶解度、渗碳速度以及对机械性能和耐磨性的影响。渗碳温度的提高提出了要创造新牌号钢的任务。

在本书中叙述了作者在研究工作中及在生产中应用第一批感应加热快速气体渗碳用机组时所积累的經驗。当然，读者不可能在这本书里找出由于这一新的热处理过程进一步发展而产生的各种问题的解答。

但是，本书向读者介绍了目前在设计渗碳装置以及在研究和在生产中应用这一新的处理方法时首先所要考虑的问题。

同作者一起积极参加创立感应加热快速渗碳工作的有雅茨科夫（С. А. Яицков）工程师、施克雅罗夫（И. Н. Шкляров）工程师、拉宾（М. О. Рабин）工程师和谢纽什金（Н. В. Сенюшкин）、瑞瓦德夫斯基（А. Н. Животовский）、包里索夫（Н. И. Борисов）等同志。

目 次

序言

第一章 鋼制机器零件渗碳的现代方法	1
1 渗碳的目的及对渗碳零件质量的要求	1
2 现代渗碳方法的特点	3
3 加速渗碳过程的途径	5
4 鋼号的选择	13
第二章 感应加热快速气体渗碳用的设备	33
1 齿輪感应加热渗碳用周期式机組	33
2 齿輪快速渗碳用連續式机組	39
3 快速渗碳用的連續式双室机組	57
4 感应加热时齿輪快速渗碳和等温退火用連續式机組	65
5 軸承环快速渗碳用連續式机組	68
6 快速渗碳后零件淬火用机床	71
第三章 感应加热快速渗碳的实际应用	74
参考文献	80

第 一 章

鋼制机器零件渗碳的現代方法

1 渗碳的目的及对渗碳零件质量的要求

渗碳处理是机器零件表面强化最常用的方法之一。此法所以得到广泛应用的原因，是因为只有碳才能使淬火状态鋼的硬度增高。

目前工业中采用的几种渗碳方法是：固体渗碳、气体渗碳、液体渗碳和气体氰化。

所有这些渗碳方法，都是在鋼与一氧化碳或甲烷的相互反应过程中鋼被碳饱和而实现的。

鋼被碳饱和的过程应按照一定的規律进行，即应保証使零件表面的碳能渗入内部，而且碳浓度的分布应使表面上沒有圍繞奧氏体晶界的网状过剩碳化物存在。

有过剩碳化物相形成，尤其是碳化物相形成連續的渗碳体网是絕對不容許的，否則，渗碳层在淬火后会产生很显著的脆性，使零件表面很快即被磨損。

少量的渗碳体，特别是以分散的球形夹杂物形态存在是許可的，因为这种夹杂物很硬，能使磨損减小。

鋼被碳饱和的过程为一个扩散过程，主要取决于温度；随着温度的升高，扩散速度增快，从而使渗碳层的深度增加，而且碳浓度的分布也更为均匀。

碳在表面层中的饱和度，应保証使鋼在淬火后具有良好的性能；碳在表面层中的极限含量以不超过1.0%为宜。

对渗碳层质量的要求，在碳的饱和度方面对于碳鋼和对于合金鋼都是一样的。

渗碳质量的另一个指标是渗碳层深度。其基本規則可簡述如下：鋼在原始状态下的含碳量愈高，渗碳层的深度应愈小。

譬如，对模数为 3~4 毫米的 18XIT 低碳鋼制齿輪牙齿的渗碳层深度如采取 1.0 毫米时，那么对于模数相同而由 30XIT 中碳鋼制齿輪，渗碳层深度可以采取 0.5~0.7 毫米。

現在还没有作为确定渗碳层深度的一定标准，因此应以实验数据作为根据。

研究确定：随渗碳层深度的增加，其疲劳强度降低。由此可見，减小渗碳层的深度，不仅可以降低渗碳过程的成本，而且还可以延长零件的寿命。

[渗碳层深度] 这一术语是相对的，因为在各企业中量取渗碳层深度的方法是不相同的。在一些企业中，渗碳层深度是从表层計算到原始組織处为止，而在另一些企业中是計算到出現鉄素体处为止，还有一些企业則是計算到碳濃度为 0.45~0.50% 的过渡层的一半处为止。渗碳层深度是将退火后的磨片放在显微镜下进行测量的。

在李哈乔夫汽車厂是取至原始組織处的深度（包括过渡层在内）为止作为渗碳层深度的。

最后，还有一点也是很重要的，就是零件在渗碳后的热处理，不仅要保証渗碳层具有一定的硬度和組織，而且也要保証心部具有一定的硬度和組織。

心部的組織应为索氏体組織，絕不許有鉄素体存在，因为鉄素体的强度很低，在临界載荷下其晶粒內可能会有裂縫形成，并会发展形成疲劳裂紋。

能否得到淬火索氏体，这将視鋼的含碳量和淬透性以及零件的大小而定。譬如，一根有三个模数不同的齿輪的副軸，其各齿輪牙齿心部的組織将是彼此不同的，因为牙齿心部的淬火速度是不一样的。

通常认为，零件在淬火及低溫回火后，其表面硬度应不低于 $R_c = 56$ 。此硬度相应于有少量殘余奥氏体存在时的硬度，如果配

合的表面具有与此相同或略高的硬度时，为了保证磨擦表面的抗磨性，少量奥氏体的存在实际上是完全容许的。硬度的上限一般为 $R_c = 62$ 。

制造渗碳零件用的钢，必须具有一定的淬透性，以使在紧接渗碳层的区域譬如在齿轮牙齿的心部能得到不低于 $R_c = 35$ 的硬度，并且在组织中沒有铁素体存在。

經驗証明：为了避免脆性过大，心部硬度的上限可以規定在 $R_c = 45$ 以下。

在保持規定的渗碳层深度下，如渗碳层和心部的組織和硬度配合适当，就能使零件的寿命提高。

2 現代渗碳方法的特点

气体渗碳法的特点，是可以直接淬火，其实质就是在渗碳之后先将零件預冷至 $830 \sim 870^\circ\text{C}$ ，然后进行淬火（一般都是在油中）。

在机器制造厂采用气体渗碳法的同时，冶金工厂也掌握了控制晶粒大小的炼钢法，于是气体渗碳并直接淬火的方法便在苏联和国外的工业中获得了广泛的应用。

气体渗碳后直接淬火能减小变形，因而提高了零件的质量，这对制造齿轮有着重大的意义。此外，投資額和生产費用也大大地减少了。

这一先进的渗碳零件的热处理方法使設計連續作业装置成为可能，在这种装置內可以进行零件的渗碳、直接淬火、清洗及低温回火。

在这种装置上进行渗碳时，溫度规范以及装料工序和零件的移动都是自动控制的。

气体渗碳过程的改进使創制无馬弗罐的渗碳炉成为可能，因而显著地降低了零件热处理的成本。

图 1 所示为一台連續作业机组，由无馬弗罐的气体渗碳炉、机械化淬火槽、清洗机和回火炉所組成。当零件渗碳层深度为 1.0

毫米时，此机组的生产率为每小时 700 公斤。

此机组的缺点是炉子磚衬的耐火度和炉子的金属零件（管状加热器）的耐热性不够高，不可能将炉温提高到 $930\sim 950^{\circ}\text{C}$ 以上，因而使渗碳过程的时间受到限制。

3 加速渗碳过程的途径

渗碳处理的主要缺点是渗碳过程的时间太长。早在二十年前就曾尝试过寻求缩短渗碳过程时间的方法。经过实验证明，解决这一问题有两个可能的方向：其一是利用电流对被加热钢和渗碳剂的特殊作用来加速渗碳过程，另一个是仍用普通的渗碳炉但采用较高的温度。

利用电流加热加速渗碳过程

1936年盖里馮德（А. С. Гельфонд）发表了应用电流加热来加速渗碳过程的著作。这种试验的示意图如图 2 所示。渗碳工件放在一个陶瓷容器中（装有固体渗碳剂）两个通电的电极之间。电流在两个电极之间通过时，[冲刷]工件并将工件和渗碳剂加热。显而易见，由于钢件具有较高的电导性，所以电流不只是[冲刷]工件，而且能够克服工件和渗碳剂之间的中间电阻而穿过工件。

根据盖里馮德的数据，用这种方法在 1000°C 渗碳 70~75 分钟时所得到的渗碳层的总深度为 1.3~1.6 毫米。

然而，由上述著作不可能作出关于电流对渗碳过程有加速作用的结论，因为作者对温度的精确测量没有给予应有的注意。因而，作者也就认为温度变动 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 是不算大的，可是大家知道，渗碳温度在此范围内的变化会显著地改变过程的速度。

古德佐夫（Н. Т. Гудцов）和苏敏（И. А. Сумин）[8]也进行过利用电流加速渗碳过程的试验。他们试验的示意图如图 3 所示。

欲渗碳的试样放在铁箱中的固体渗碳剂中，而铁箱则放在电

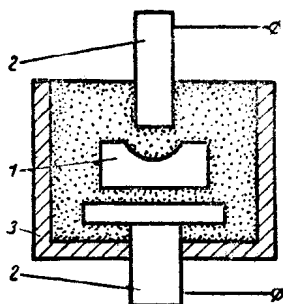


图2 惹里馮德的通过渗碳箱直接通入电流在固体渗碳剂中的渗碳试验的示意图：
1—工件；2—电极；3—陶瓷容器。

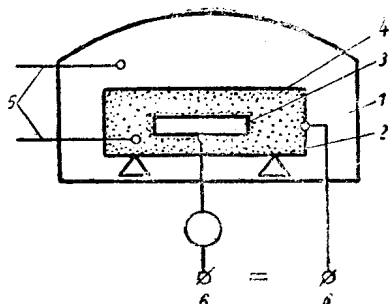


图3 古德佐夫和苏敏在试验中所采用的用电流加速渗碳的装置：
1—电炉炉膛；2—渗碳箱；3—试件；
4—固体渗碳剂；5—热电偶；6—直流
电流供给端鈕。

炉内，零件即在此炉中被加热到需要的温度。此外，在零件和渗碳箱之间通2到10安培的直流电流，根据作者的测量结果发现，渗碳试样表面的温度比炉内温度高40~50℃左右。

以这种方案进行的试样渗碳证明有可能在相同的保温时间（3小时）下得到比不通电流渗碳时深0.5~1倍的渗碳层。

文章的作者作出的结论是，在这种情况下，渗碳过程之所以加速主要是由两个因素：固体渗碳剂由于形成的巨大电弧而趋活化和含有过剩渗碳体的试样表层中局部的强烈过热所引起的。

由此可见，进行这一试验的条件不可能把上述两个因素的影响区分开来，也不可能回答渗碳过程究竟因为什么而加速这一问题：是由于电流的特殊作用呢，还是因为在渗碳过程中采用了较高的温度？

1938年，加尔金（А. И. Гардин）〔4〕在渗碳实验中采用了高频电流进行加热。装置的示意图如图4所示。渗碳的试样放置在装有固体渗碳剂的陶瓷杯内。加热试样是用通入频率为 10^5 赫芝电流的感应器进行的，温度用光学高温计在试样的顶端上测量，检验所用试样在炉中加热渗碳。

加尔金所得的数据列于表 1 中。

在上列表中作者得出了关于电流对渗碳过程有加速作用的結論，但这表中必須引入某些修正。

在按图 4 的方案渗碳的过程中，在試样內必然会激发起不很大的单位功率（約 $10 \sim 15$ 瓦特/厘米²），此功率应仅够补偿散发于周圍介质中的热损失。

即使在这样小的单位功率下，因輻射和对流从試样頂端散去的热量仍可能使頂端的溫度大大降低到低于与渗碳剂接触承受渗碳的試样圓柱体部分的溫度。

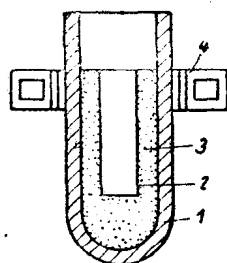


图 4 加尔金的高频电流加热渗碳試驗的示意图〔4〕：

- 1—陶瓷杯；2—鋼試样；
3—渗碳剂；4—加热感应器。

表 1 用頻率 10^6 赫芝的感应电流加热試样时渗碳过程的加速
(渗碳持續時間 10 分钟)〔4〕

渗 碳 溫 度 (°C)	渗 碳 层 深 度 (毫米)	
	炉 中 加 热	感 应 电 流 加 热
800	0.05	0.18
900	0.1	0.35
1000	0.15	0.65

此外，試样頂端与感应器的上平面的相对位置也对頂端的溫度有影响。甚至試样頂端比感应器的上平面略高时，頂端的溫度也将低于承受渗碳的試样圓柱体部分的溫度。

关于利用电流加速渗碳过程可能性的見解，在一定程度上与格維林 (Н. В. Гевелинг)〔5〕所提出的关于电流对多相組織中扩散的特殊作用的假設相一致。

但以后薩道夫斯基 (В. Д. Садовский) 的實驗〔14〕和斯别克托尔 (А. Г. Спектор)〔16〕的計算工作証明，由于不同結構組份（渗碳体、鉄素体等）的电阻不同，所引起的电流对鋼組織的

特殊作用极小，也不可能对鋼中的扩散过程有重大的影响。

提高温度来加速渗碳过程

提高温度是大大加速扩散过程的有效因素。

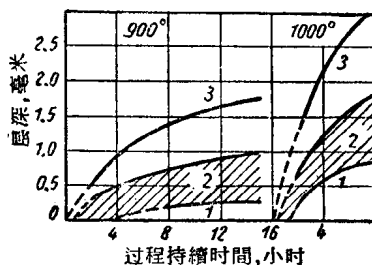


图5 渗碳层深度与渗碳温度和持續时间的关系[9]:
1—过共析层；2—共析层；3—过渡层。

升高温度时渗碳速度的增加可以用古德佐夫和布加也夫的資料[9]來說明(图5)。由图5的数据看出，将渗碳温度从900°C提高到1000°C时，获得1毫米厚的渗碳层所需的时间减少到为原来的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ 。

斯托罗也夫(С. С. Строев) [17] 指出：在正确选择随后的热处理条件下，高温加热对鋼的机械性能不会起不良的影响。

在斯托罗也夫的研究中，用18XHMA 铬镍鉬鋼、18XHBA 铬镍鉬鋼和ЭИ274 铬錳鈦鋼制零件在約1000°C 温度下进行了渗碳。

虽然渗碳时奥氏体晶粒发生长大，但由于随后热处理的结果，18XHMA 和18XHBA 并不会失去高的机械性能，这可用表2中的数据來說明。

試驗还証实了，即使在高温(1000~1200°C) 下作长时间的

表2 在1000°C保温数小时及随后热处理后18XHBA鋼的
奥氏体晶粒大小和机械性能的对比

鋼中奥氏体晶粒大小		机 械 性 能		
起始的	最終的	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	a_k (公斤米/厘米 ³)
8	8	125	61	15.3
7—8	4—5	126.8	62.5	16.2
7—8	4—5	121.9	62.5	16.5
7—3	4—5	123.4	62.5	16.0

停留，鋼的疲勞強度仍能保持在一般熱處理時採用的技術條件所要求範圍。

斯托羅也夫曾將高溫滲碳法運用到了某一工廠中。經驗表明：高溫滲碳會使爐子工作元件（加熱器、耐熱馬弗罐、導軌等）的壽命大大縮短，因而限制了它的廣泛應用。下面便會看到，利用感應加熱就可以設計在高溫下工作的滲碳聯合裝置，這種裝置的工作元件不需要稀缺的貴重材料，並且能夠在 $1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 下使用。

除了高溫滲碳的工作外，斯托羅也夫還進行了感應加熱在滲碳時應用的試驗〔18〕。將航空發動機曲軸頸進行了滲碳。由於缺少穩定和測量加熱溫度的裝置，所以加熱溫度的控制是靠手操作來實現的。試驗屬於實驗室性質，所以這一滲碳法尚未應用在生產中。

為了檢查靠什麼因素（電流的特殊作用或高的溫度）可以加速感應加熱時滲碳過程，作者曾經用裝有固體滲碳劑的杯形試樣進行了試驗〔3〕。

試樣用20號鋼製成（圖6），在其中填滿標準固體滲碳劑（白樺木木炭加 $20\sim 25\%\text{BaCO}_3$ ）并用蓋蓋緊。然後將試樣放在感應器中加熱。加熱溫度用插入試樣壁中距外表面 $1.5\sim 2.0$ 毫米深处的熱電偶測量。由以上可知，承受滲碳的僅為試樣的內表面。

熱電偶的熱端放在欲滲碳表面的附近處，以保證滲碳溫度測量的精確性。

與上述試驗的同時，還將同樣的試樣在爐中加熱進行滲碳。試驗結果列在表3中。

得到的數據表明，在兩種加熱條件下得到的滲碳層深度實際上是相同的（在相同的加熱溫度時）。因此，感應加熱的加速作用，與滲碳過程中電流對鋼組織的〔特殊作用〕無關，而只是由於採用了較高的溫度所致。

為了檢驗這一見解的正確性，曾將20號鋼在固體滲碳劑中用

表3 20号鋼在炉中加热和用感应法加热时渗碳深度测量的結果
(保温時間 1 小时)

加 热 条 件	渗 碳 层 的 平 均 深 度 (毫 米)	
	900°C 时	1000°C 时
炉中	0.4	0.9
用频率为2000赫芝的电流	0.4	0.85

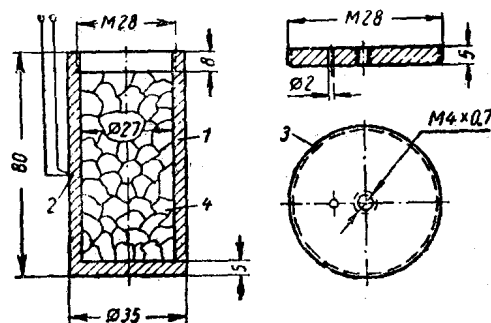


图6 感应加热时加速渗碳过程試驗用的杯形試样:

1—試样; 2—热电偶; 3—带螺纹的盖子; 4—渗碳剂。

頻率 2000 和 8000 赫芝的电流加热到 1000°C、1100°C 和 1200°C 溫度进行了渗碳試驗。

試驗証明: 当溫度和保温時間相同时, 在两种頻率下得到的渗碳层深度实际上是一样的。試驗結果用曲綫表明在图 7 上, 图 8 所示为渗碳层的显微組織。

必須指出: 無論采用 2000 赫芝或 8000 赫芝的頻率, 电流都能把試样壁加热透, 因为电流穿进加热到高于居里点的鋼內的深度超过了試样壁的厚度。

为了作出哪一些因素能使感应加热渗碳过程加速的結論, 下面就来比較一下在电流直接通过制件和渗碳剂时 (如盖里馮德及古德佐夫和苏敏的試驗) 以及在感应加热时渗碳过程 进行 的情况。

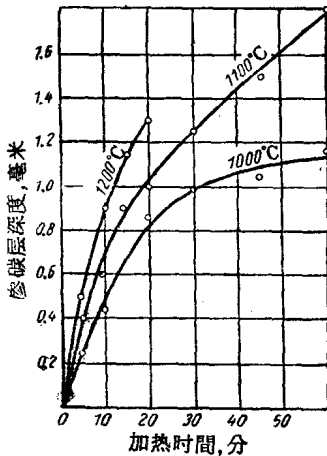


图7 用频率2000和8000赫芝的感应电流加热试样时渗碳层深度与渗碳温度和时间间的关系。

与渗碳剂的种类（固体的或气体的）无关。与直接通电流时的渗碳不同，在这种情况下电流并不流过制件-渗碳剂的分界面，因此也就不存在能够增加固体渗碳剂活性的巨大电弧形成的条件。

考虑到以上所述和前面提到的薩道夫斯基〔14〕、斯别克托尔〔16〕的著作指出，电流对鋼中扩散过程的特殊影响的重大作用未被证实时，作者的实验结果显然是合理的，这些结果证明感应加热时如不提高温度就不可能使渗碳过程加速。

据上所述，在感应加热时只有提高温度才可能使渗碳过程加速。

提高温度在感应加热时不会引起什么根本的困难，因为在这种情况下所需要的热量直接发生在被处理的零件内，而且完全不需要什么加热器、馬弗罐或其他当温度高于1100°C时使用寿命就会受到影响的耐热元件。

在上述的两种情况下，渗碳装置中电流循环的示意图如图9所示。

当电流直接通过制件和渗碳剂时，其特点就是电流要通过渗碳剂和工件的分界面。由于金属和渗碳剂间的中间电阻比整块金属的电阻高，因此便为工件表面进行局部高温加热创造了条件。此外，根据古德佐夫和苏敏的意见〔8〕，在这种场合下还有促使渗碳剂活化及加速金属表面碳饱和过程的巨大电弧产生。

感应加热时，电流在渗碳零件内系沿着一闭合线路循环，而

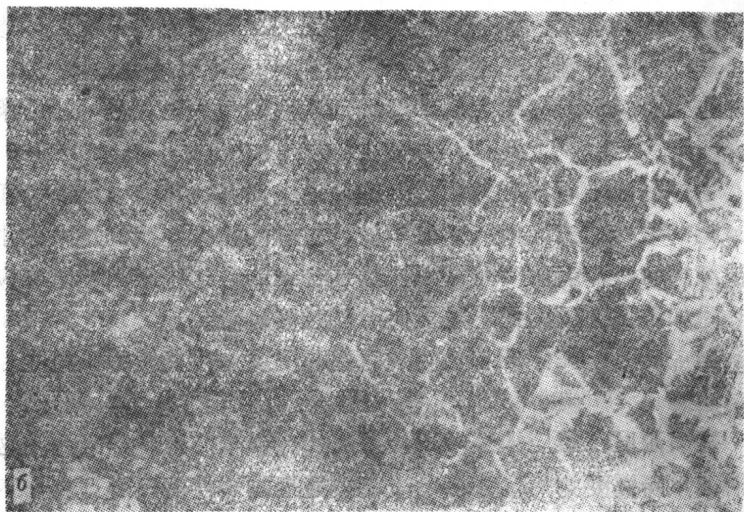
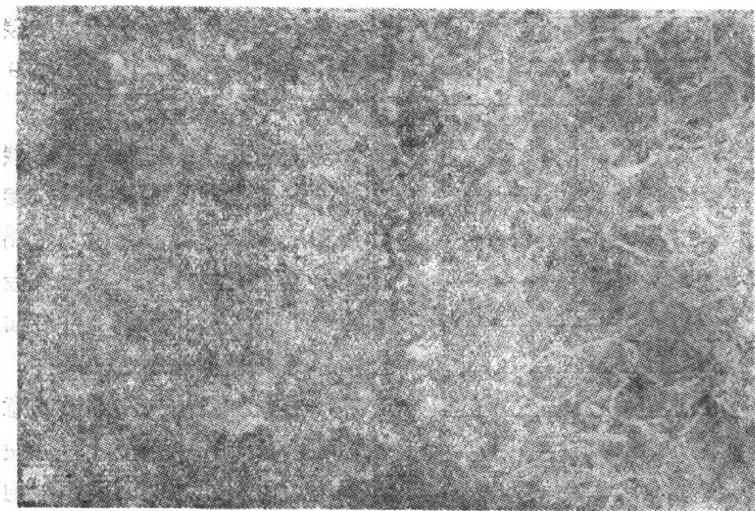


图8 感应加热固体渗碳的20号钢制试样渗碳层的显微组织
($\times 100$):

a—1100°C, 5分钟, 层深0.9毫米; *b*—1200°C, 10分钟, 层深0.85毫米。