

汽车渗碳齿轮

吳景之、姚貴升合編



机械工业出版社

汽車滲碳齒輪

吳景之、姚貴升合編



机械工业出版社

1957

出版者的話

本書是吳景之、姚貴升兩同志根据汽車滲碳齒輪方面的一些最新資料并結合本人的工作經驗編写而成。

書中对鋼料的選擇、熱處理過程、質量檢查、損壞原因分析和最近研究的趨勢等主要問題作了較為全面而有系統的論述。

本書是從事汽車齒輪滲碳工作的技術人員和研究人員的有用參考書。

NO. 0763

1957年6月第一版 1957年6月第一版第一次印刷

850×1168 $1/32$ 字數 88 千字 印張 $3\frac{7}{16}$ 0,001— 2,200 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)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証出字第 008 號 定價(10) 0.65 元

目 次

一 概論	5
二 滲碳鋼料	7
1 鋼料的选择	7
2 合金元素的影响	9
3 滲碳鋼料	17
4 几种滲碳鋼性能的比較	28
5 滲碳鋼料的质量要求及檢驗	32
三 热处理过程	37
1 滲碳	37
1 目的和要求(37)——2 滲碳的一般原理(38)——3 固体滲碳(44)——	
4 液体滲碳(50)——气体滲碳(60)	
2 淬火和回火	70
1 淬火方法(70)——2 避免齿輪变形的办法(73)——3 低温回火	
(75)	
3 冰冷处理	76
4 噴砂处理	77
5 各种鋼料做成的齿輪热处理过程实例	78
四 質量檢驗	79
1 影响質量的因素	79
1 低倍組織(79)——2 滲碳層厚度(80)——3 面層含碳量(82)——	
4 滲碳層組織(83)——5 心部組織(88)——6 硬度(88)	
2 檢驗方法	89
1 低倍檢驗(89)——2 金相檢驗(89)——3 硬度檢驗(91)——4 面層	
含碳量的測定(91)	
五 損坏原因的分析	92
1 麻点磨耗	95
2 滲碳層的压穿及牙齿的疲劳断裂	97

3 齒輪牙齒心部的破裂	97
4 齒輪齒端的打掉	98
六 最近的發展趨勢	101
参考文献	108

— 概 論

齒輪在汽車上是很重要的部件之一，變速箱和差速箱都是依靠齒輪發揮功用的。在變速箱中，通過它來改變引擎、曲軸和主動齒輪的速比；在差速箱中，通過它來增大扭轉力矩，調節左右兩輪的轉速；全部引擎的動力，通過它傳到主動輪。因此，這些齒輪承受着很大的負荷。

變速箱或後橋齒輪的破損，都會影響汽車的正常行駛。因此，我們必須正確地選擇齒輪鋼料，配合適當的熱處理工藝過程，以保證齒輪的質量。一般汽車齒輪所用鋼料和其簡單熱處理過程如表 1 所列。

重型卡車如 ЗИС-5 (3 噸)、Я-3 (3 噸)、ЗИС-150 (4 噸)、ЯАЗ-200 (7 噸) 等的齒輪，主要是用低碳合金鋼經滲碳處理的。氮化處理雖然可以獲得耐磨性很高的表層，而且是在不會引起齒輪發生顯著變形的溫度內進行的，但是氮化鋼的強度極限一般都不能保證齒輪所應有的工作能力，因為在很高的工作應力下，硬化層會被壓穿而破裂。所以，氮化處理不能應用於汽車齒輪。中碳合金鋼經氰化處理後表面硬度雖然很高，由於一般層厚只有 0.15 公厘左右，不宜承受較高的負荷，只適用於輕負荷齒輪。要使齒輪承受較高的負荷，就必須使氰化層加厚至 0.25~0.35 公厘，不過實際上這樣應用的還很少見。最近的研究[1]指出：在相當的重負荷情況下如：ГАЗ-51、ГАЗ-63 (2.5 噸)，還是用滲碳比氰化更適宜一些。滲碳可以提高使用壽命 2~3 倍。所以，滲碳齒輪在汽車上是最廣泛應用的，也是最重要的一種零件。

本文所討論的就是如何選擇汽車滲碳齒輪的鋼料，怎樣進行熱處理，如何控制並檢驗其質量，分析和研究它的破損原因，從而進一步明確鋼料的選擇和熱處理過程的控制對於保證齒輪質量

的重要性。

表 1 一般汽車齒輪所用鋼料及其簡單熱處理

汽車 類型	汽車型號	出產 年份	有效 載荷	齒輪種類	鋼 料	簡單熱處理
小客車	КИМ-10	1940	4 人	變速箱	35X, 41X	氮化 0.15公厘
	ГАЗ-67Б	1943	4 人	變速箱	41 X	氮化 0.15公厘
	МОСКВИЧ	1946	4 人	變速箱	18ХГМ	滲碳 0.6~0.8公厘
	М-20	1946	5 人	變速箱	40 X	氮化 大于0.15公厘
				差速箱 主動傘齒輪	20ХГМ(精選)	滲碳 1.5~1.8公厘
				差速箱 從動傘齒輪	35ХМА(精選)	淬油
				差速箱 行星齒輪	35 X	
	ЗИС-110	1946	7 人	變速箱		氣體氮化0.7~0.9公厘
載重 卡車	Я-3	1925	3 噸	變速箱	15X3	滲碳 0.75~1.25公厘
	ЗИС-5	1933	3 噸	變速箱	18ХГМ(38年)	滲碳
					20X3(41年)	滲碳
					18ХГТ(41年後)	滲碳 0.7~1.1公厘
				差速箱—主 動傘齒輪	12X2H4A	滲碳 1.0~1.5公厘
				從動傘齒輪	18ХГТ	滲碳 1.0~1.5公厘
				行星齒輪	18ХГТ	滲碳 0.8~1.3公厘
	ЗИС-150	1946	4 噸	變速箱	18ХГТ	滲碳 0.7~1.1公厘
				差速箱	18ХГТ	滲碳
	ГАЗ-ААА	1935	2 噸	變速箱	41ХА	氮化 ≥ 0.15 公厘
	ГАЗ-ММ	1938	1 $\frac{1}{2}$ 噸	變速箱	40 X (C: 0.38~ 0.40)	氮化 0.15公厘
				差速箱		
				主動傘齒輪	20XΦ, 20X	滲碳 1.5~1.8公厘
				從動傘齒輪	40 X (C: 0.35~ 0.40)	
				行星齒輪	35 X (C: 0.35~ 0.40)	氫鹽浴加熱淬油
	ГАЗ-51	1946	2 $\frac{1}{2}$ 噸	變速箱	40 X, 41 X	氮化 0.15公厘
				差速箱	20ХНМ(精選)	滲碳 1.5~1.8公厘
	ЯАЗ-200	1947	7 噸	變速箱	12XH3A	滲碳 0.9~1.2公厘
	МАЗ-205			變速箱	12XH3A	滲碳
				差速箱	12XH3A	滲碳

二 滲碳鋼料

1 鋼料的选择

当齿輪在工作时，牙齿因受外力的作用，处于很大的弯曲应力状态下，而且这种应力还是周期性的。因此，用作齿輪的鋼材，必須具有很高的抗弯强度；同时，还必须具有很高的疲劳强度，这样才能大大地提高齿輪的使用寿命。由于齿輪在制作时不易做到十分精密，因而牙齿的齿距与齿形便会不够精确，这样就容易造成牙齿不均匀的嚙合，引起产生附加的冲击負荷；同时，在换挡时，齿輪牙齿也会經受冲击負荷，因此，鋼料应具有較高的冲击韌性。作用于齿間接触綫上的力，能引起牙齿工作表面的变形，在接触的地方产生很大的比压；此外，相互接触的牙齿非但有滚动，而且还有滑动；由于接触点上很大的比压和齿間的摩擦系数，在齿面上产生了摩擦，所以要求齿輪用鋼在經過适当的热处理之后，牙齿表面必須具有很好的耐磨性，以抵抗由于表面摩擦而产生的磨耗。

为了尽量降低汽車本身的重量以提高本身重量的利用系数，必須尽可能地縮小汽車上各种零件的尺寸和重量。对齿輪來說，也希望如此。因此做齿輪用的鋼料也必須具有較高的强度。

不久以前，認為影响牙齿强度最有危害性的因素是冲击負荷〔2〕，認為滲碳零件的强度，主要決定于心部的塑性，因此，变速箱齿輪和主动齿輪等都采用低碳合金滲碳鋼，依靠滲碳使零件表面不厚的一層达到足够的硬度。但是試驗証明：这种齿輪的滲碳表面耐磨性虽好，但耐疲性不高，不能承受高的比压。同时，这种滲碳零件的使用情况指出：因心部具有高的塑性，不能保証滲碳零件得到最好的强度。时常發現，心部韌性較高的滲碳零件很

早就破坏了；相反地，心部韌性不高的零件反而很耐用。这是因为心部鋼料的冲击韌性和滲碳后材料的靜弯曲强度之間缺乏直綫关系[3]。当滲碳材料在靜或动弯曲（冲击負荷）时，最初的破裂是由滲碳層表面开始的，表面的裂痕起着尖銳的缺口作用，形成应力集中，很快地深入内部。所以我們要求心部要具有抵抗缺口扩展的能力，也就是說，当滲碳表層破裂时，裂縫能被心部所阻，停止繼續扩展。滲碳零件的破裂，既然是由表面开始的，显然表層强度是很重要的。表層必須有高的强度，才能承受高的負荷；心部也要有足够的强度来支持表層——这里所說的心部强度，不是破坏强度，而是彈性極限强度与屈服强度——因为只要外加应力超过心部的屈服强度，心部材料便發生了塑性变形，就会使表層由于过負荷而破坏。由此可以看出：影响滲碳零件最重要的因素是滲碳層的强度和心部的屈服强度，仅仅心部的韌性是缺乏实际意义的，所以选择鋼料时必须注意到这一点。

在选择鋼料时除了考虑强度之外，为了得到优良的产品，还必须注意鋼料的工艺性能：

1) 硬化性能 选择鋼料时我們不仅要注意材料本身的强度，还要考虑到用这种材料做成的零件是否在整个断面上都能达到一致的强度，这是保证零件質量的重要条件之一。为了满足这种要求，零件最大断面在淬火时必须淬透，也就是鋼料必須具有足够的淬透性，保证淬火后牙齿的心部能得到应有的硬度，并且在显微組織中沒有游离鉄素体出現，断面組織均匀，机械性能一致，这样才可以保证零件具有高的疲劳强度。

牙齿的心部硬度，决定于在工作时的实际应力和齿面的比压。根据鋼料的淬透性曲綫，可以决定选用哪一种鋼料才能滿足规定的要求。但是对于帶軸的齒輪，仅根据牙齿的心部硬度来决定鋼料的淬透性是不够的，因为我們还必须保证齒輪的軸有足够的扭轉强度，如果鋼料的淬透性能够保证齒輪的軸有足够的扭轉强度，当然牙齿心部的强度也就足够了。

近年来汽車工業的經驗証明，控制鋼料的硬化性能可以預先估計熱處理的結果，因此製造齒輪的鋼料除必須具有一定的強度外，同時還必須有與技術條件相符合的淬透性。

2) 熱處理工藝 被選用製造齒輪的鋼料，應具有只要經過簡單的熱處理後就能保證零件獲得足夠強度的性能。用這種鋼料做的齒輪，在熱處理後只有極少量的變形，能保證零件尺寸符合于圖紙公差的要求，而且在裝配時無須進行附加的研磨修正。

如12X2H4A、12XH3A、18XHBA、20XHMA等鋼料，雖然都有高的強度，良好的淬透性，但是都需要經過很複雜的熱處理過程，這是由於用這些鋼料制成的零件經氣體滲碳後直接淬火，在滲碳層組織中會出現大量殘余奧氏體，因此必須經過附加的高溫回火和二次淬火的熱處理過程。除了18XHBA、20XHMA之外，其他幾種鋼料又都有大量的變形，必須經過再次加工，這樣不但降低了成品的質量，而且也提高了零件的成本。

3) 加工性能 鋼料必須具有良好的加工性能。因為，加工性能的改善，在機械加工時不僅可以提高勞動生產率，減少刀具的消耗，同時還可以改善齒輪工作表面的質量——齒的嚙合及幾何形狀的精確度，這樣也就提高了齒輪的耐磨性，延長了它的使用壽命。如果加工性能不好，加工時就會使零件表面加工硬化現象加重，使零件在熱處理時發生過度的變形。

由此可以看出：作為汽車齒輪的鋼材，既要具有足夠的強度，又須具有適當的工藝性能，才能保證齒輪的質量，提高生產效率。此外，在選擇鋼料時，還必須注意節約，盡量避免採用含有貴重合金元素的鋼料，多採用鹼性馬丁爐冶煉的鋼，這樣才能降低成本。

2 合金元素的影响

根據以上對齒輪鋼料所提出的要求，顯然，一般碳鋼是不能滿足的。碳鋼不但強度較低，而且淬透性不夠，因此，一定要采

用低碳合金鋼，如18XГМ、12XH3、12X2H4A、18XHBA、18XГT等鋼料；在鋼中加入一些鉻、鎳、鉬、鎢、錳、鈦等合金元素。

合金元素除了对鋼的一般性能（淬透性、强度、韌性、抗回火性等）有影响外，对滲碳鋼來說，它对滲碳零件的質量（面層含碳量、滲碳層厚度、表層硬度、滲碳層和心部的晶粒大小以及其他性能）还有其特殊的影响。現在把常見的合金元素对滲碳时的影响分別討論如下〔3〕、〔20〕：

1) 鉻的影响 鋼中含鉻量为1.5%时，显著地提高了面層含碳量；当鋼中含鉻量达到3%时，面層含碳量又降低了，但是仍比沒有含鉻的鋼面層含碳量高。

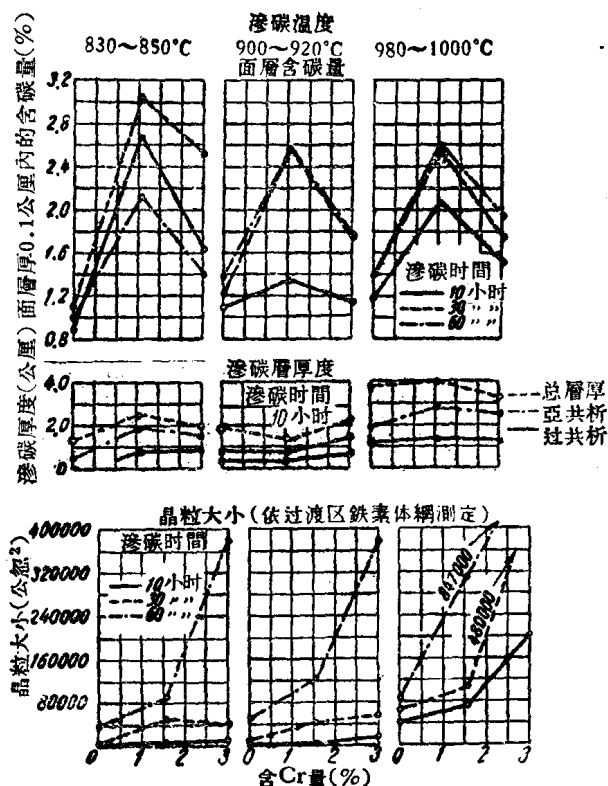


圖1 鉻对于滲碳層性質的影响，含碳量为0.18~0.23%的鋼在60%木炭+40%BaCO₃固体滲碳剂中滲碳。

从圖 1 中可以看出, 当含鉻量为 1.5% 时, 渗碳層的面層含碳量达最大值。这可能是由于鋼中析出碳化物的成分〔在低鉻鋼中形成 $(\text{FeCr})_3\text{C}$, 而在含鉻較高的鋼中形成 $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$ 〕和結構不同的緣故。同时, 在含鉻較高的鋼中, 碳在奥氏体中的溶解度降低了, 而且碳在奥氏体中的扩散速度也降低了, 这些都促使渗碳層的面層含碳量降低。

在鉻鋼的渗碳層中, 碳分主要是聚集于深度为 0.1~0.15 公厘的表面, 在显微組織中成顆粒狀的碳化物析出。

鉻对于渗碳層总厚度的影响还不能肯定, 但是, 鉻可以促使共析区的厚度增加。

渗碳时, 在短期加热保温的情况下, 鉻对鋼的晶粒長大。沒有显著的影响, 但在長時間渗碳之后, 鉻会显著地促使晶粒長大。渗碳鉻鋼的晶粒大小, 根据表層析出的碳化物測量出来的晶粒大小, 要比根据过渡区析出的鉄素体測量出来的晶粒小些, 这是由于析出的碳化物对晶粒長大有阻碍作用。

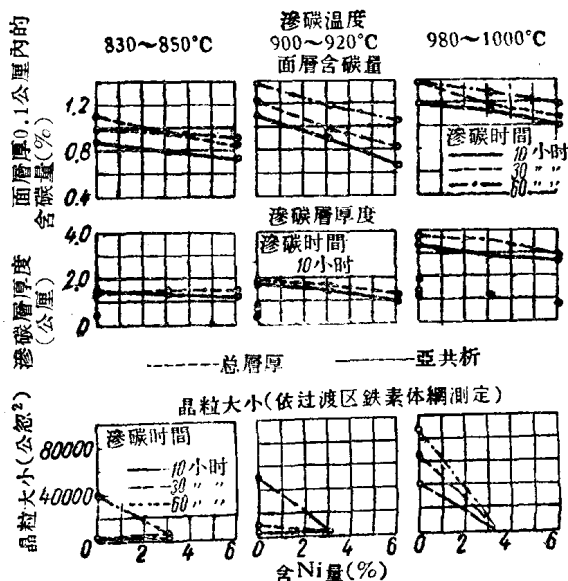


圖 2 鉻对于渗碳層性質的影响。

2) 鎳的影响 鎳能促使滲碳層中的含碳量降低(圖2),同时也降低滲碳層的厚度。鎳鋼滲碳時,得到的網狀碳化鐵很細。當鎳鋼含鎳量超過6%時,在滲碳層中不僅有碳化鐵,而且還會有石墨出現,但是實際上從沒有應用含鎳量這樣高的鋼。在三元合金和更複雜的合金滲碳鋼中,含鎳量是不超過5.25%的。加有鎳的滲碳鋼,可以提高滲碳層及心部的韌性,因此一般採用鎳鋼做重要的滲碳零件。

鎳鋼經長時間的滲碳或提高滲碳溫度時,鎳可以阻止晶粒的長大。當以 $900\sim 920^{\circ}\text{C}$ 的溫度滲碳而且時間不長時,鎳對鋼的晶粒大小沒有影响。鎳鋼滲碳後,滲碳區域較均勻地過渡到未滲碳區域,而且碳化鐵的分布也是較均勻的。

3) 錳的影响 錳實際上對滲碳層厚度沒有影响,但是在高溫 and 長時間的滲碳時,錳會減少滲碳層厚度。錳對於面層含碳量的影响也不顯著(圖3)。

錳的有利作用是會消除滲碳層的反常組織。

到最近還有文獻上指出:必須限制滲碳鋼的含錳量在0.6%以下。可是後來發現低碳錳鋼對過熱性並不敏感,僅僅在提高鋼中含碳量時,才會提高鋼的過熱傾向。因此,錳鋼在滲碳後,用滲碳層的碳化鐵網子測量的奧氏體晶粒大小,要比由過渡區鐵素體網子測量出的大。

在最常採用的滲碳溫度($900\sim 920^{\circ}\text{C}$)和時間(10小時)的情況下,鋼中有錳存在,實際上對心部晶粒大小沒有影响。如果滲碳後在 820°C 進行加熱淬火時,錳促使滲碳層晶粒長大的傾向也不大。

因此,最近含錳0.7~1.0%的錳鋼成功地用於滲碳零件。同樣的含錳量也常加入於複雜成分的滲碳鋼中。

4) 鉬的影响 鉬能促使面層含碳量增加,而且面層含碳量的變化曲線因鋼中含鉬量的不同而有很大的變化。這是由於有不同类型的鉬的碳化物形成的緣故(圖3)。

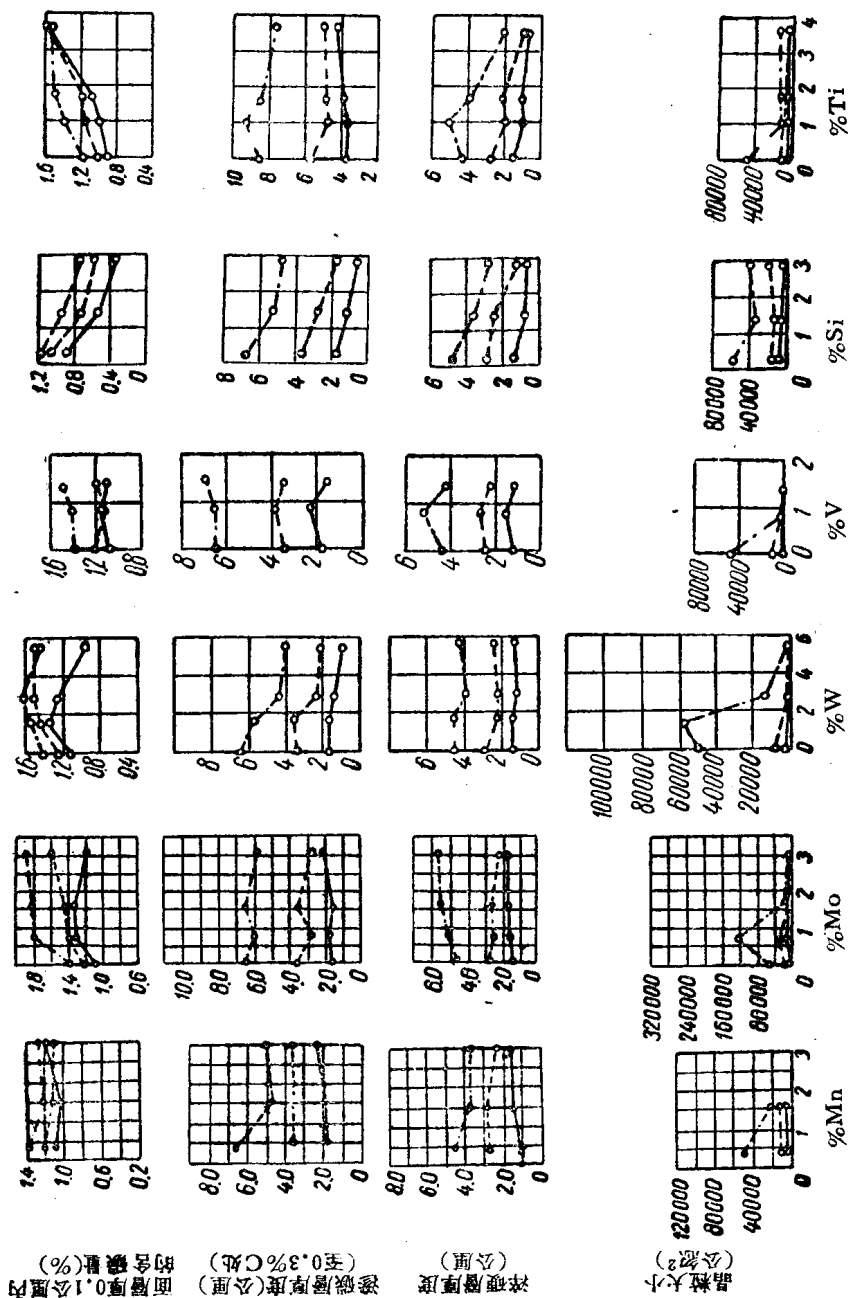


圖3 Mn、Mo、W、V、Si、Ti對滲碳層性質的影響(900~920°C滲碳)。
 ——10小時 ---30小時 - - -60小時

在 $900\sim 920^{\circ}\text{C}$ 渗碳时，鉬不会改变渗碳層厚度；但渗碳温度更高时，鉬会降低渗碳層厚度。

鉬鋼渗碳时，在渗碳層中有形成反常組織的傾向。

鉬常常降低鋼的过热傾向。

通常以 $0.2\sim 0.3\%$ 的鉬作为附加的合金元素加入 鉻-錳，鉻-鎳等合金渗碳鋼中。

5) 鎢的影响 鎢增加面層含碳量，但其作用不如 鉻 显著。鎢降低渗碳層厚度 (圖 3)。

鎢鋼趋向于在渗碳層中得到反常的組織。

鎢降低渗碳鋼的过热傾向。

通常以 $1\sim 1.5\%$ 的鎢作为附加的合金元素加入于 鎳-鉻鋼中。

6) 鈳的影响 鈳可以提高面層含碳量，但不显著；鈳对于渗碳層厚度的影响还未肯定，但在大多数情况下降低渗碳層厚度 (圖 3)。

目前鈳在渗碳鋼中还未广泛采用，只是在 鉻-鈳鋼中含鈳 $0.1\sim 0.2\%$ 。

7) 硅的影响 到目前为止，在渗碳鋼中还没有采用硅作为合金元素。因为硅的存在，会在鋼的表面形成一層很稳定的氧化膜，因而减少面層含碳量和渗碳層厚度[3, 19]。同时，硅是石墨化元素，鋼中含硅量增加，將在渗碳層中促使石墨析出。但是含硅量在一般的限度以內时沒有这种有害的作用。

8) 鈦的影响 鈦增加面層含碳量；对于渗碳層厚度的影响，随其含量与渗碳时间的不同而有差別。

鈦在鋼中形成碳化鈦，在显微镜下碳化鈦 (TiC) 成四方形状。当加热时，碳化鈦存在于奥氏体晶粒边界，因而可以阻止奥氏体晶粒長大[19]，所以鈦可以細化晶粒。但鈦的加入会减少淬硬層深度和减弱淬透性。

鈦加入于渗碳鋼中的量很少 ($0.05\sim 0.15\%$)，其目的只是細化晶粒。

9) 鋁的影响 鋁降低面層含碳量, 并减少滲碳層的厚度。鋼中含鋁量的增加, 会引起晶粒的長大; 而且在長時間滲碳时, 鋁会促使滲碳層石墨化。鋁对于滲碳鋼只有不利的作用, 因此在滲碳鋼中不加入鋁。

10) 鈮 (Nb) 的影响 鋼中加入千分之几的鈮, 可以消除鋼在滲碳过程中的晶粒長大, 并促使淬火后在滲碳層組織中得到少量殘余奧氏体。因此, 鈮对于滲碳鋼起着有利的作用。但当其含量較多时, 就沒有任何优点了。

各种不同的合金元素对滲碳鋼有不同的影响, 归納起来, 可以得出下面的結論:

1) 对面層含碳量的影响 碳化物形成元素如: 鈦、鉻、鉬、鎢、釩等, 在大多数情况下都增加面層含碳量。在鋼中不形成碳化物的元素如: 硅、鎳、鋁、鈷、銅等, 都降低面層含碳量; 形成不甚稳定的碳化物的元素如錳, 对面層含碳量沒有显著的影响。

碳化物形成元素可以促使面層含碳量增加的原因如下: 滲碳时, 在含有碳化物形成元素的鋼料的滲碳層組織中將有大量碳化物析出, 它的析出不仅是在滲碳后的冷却时, 而且也在滲碳的过程中。在滲碳層中碳化物的猛烈形成, 降低了奧氏体中含碳量, 促使更多的碳分不断地溶解到奧氏体内, 这样就增加了面層的含碳量。

在含有不形成碳化物元素的鋼中, 面層含碳量的降低是由于这些元素降低了碳在奧氏体中的溶解度。虽然碳化物形成元素也降低奧氏体中碳的溶解度, 但由于碳分不仅溶于奧氏体中, 另外还形成复杂的碳化物, 所以面層含碳量非但不降低, 反而会增加。

碳分沿滲碳層的变化情况如圖 4 所示, 在曲綫 2 和 3 之間的部分, 相当于同时含有碳化物形成元素与不形成碳化物元素。

2) 对滲碳層厚度的影响 滲碳層的厚度不仅决定于滲碳条件, 同时也受鋼料中所含合金元素的影响。在一般热处理条件下 (900~920°C 滲碳 10 小时), 錳、鉻、鉬、釩 (<1%), 鈦都会使

滲碳層厚度略有增加；而硅、鎢、鎳、鋁、銅都使滲碳層厚度降低。

3) 對淬硬深度的影响 提高鋼的淬透性的一些元素如鎳、鉻、鉬等，在鋼中增加滲碳層淬硬深度。硅、鋁降低淬硬深度，鈷、鈦($>1.5\%$) 鈦也降低淬硬深度。鈷是由于它提高了鋼的臨界冷卻速度，鈦和鈦是由于它們和碳形成了穩定的碳化物，降低了淬硬表層的含碳量。錳在大多數情況下對淬硬深度沒有影响。

4) 對金相組織的影响 鋼中含有碳化物形成元素如鉻、鎢、鉬、鈦、鈦等，都促使在滲碳層表面形成大量碳化物。在含鉬及鎢的鋼滲碳時常發現反常組織；而在含鎳及銅的鋼中，則很少發現。殘余奧氏體也是滲碳層組織中重要的組成部分之一，它的含量直接決定于面層含碳量及合金元素對馬氏體轉變溫度的影响。凡是促使面層含碳量增加的、壓低馬氏體轉變溫度的和促使晶粒長大的合金元素，都增加殘余奧氏體的含量。合金元素也影响着滲碳層的晶粒大小，由過渡層的網狀鐵素體來

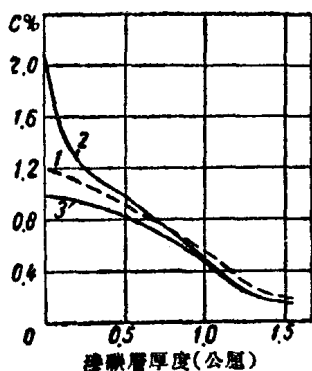


圖4 含碳量沿滲碳層深度分布曲線：

1—不含合金元素；2—含有碳化物形成元素；3—含有不形成碳化物的元素。

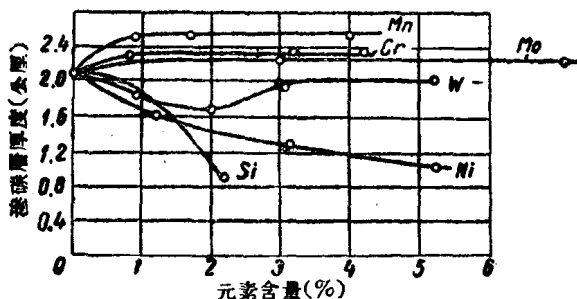


圖5 合金元素對滲碳層厚度的影响

(在苯的蒸汽中进行滲碳，于 925°C 保持11小时) (古里亞耶夫)。