

滲碳鋼的強度

姚貴升編譯

內 容 簡 介

本书系参考国外有关文献編写的，首先討論渗碳鋼的弯曲强度、冲击韧性、耐磨性能和疲劳性能等問題，并研究影响上述性能的各种因素，接着論述渗碳齒輪的破坏形式及影响齒輪使用寿命的因素，最后討論渗碳鋼材的选擇問題。

本书主要讀者对象系从事汽車制造的工程技術人員，也可供一般机械制造厂和鋼厂在选用鋼材及研究新鋼种时的参考。

NO 3187

1960年3月第一版 1960年3月第一版第一次印刷

787×1092 1/32 字数 108 千字 印張 5 2/16 0,001— 3,350 册

机械工业出版社(北京阜成门内大街25号)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业許可証出字第 008 号

定 价(11)0.81元

目 次

第一章 靜彎曲試驗時滲碳樣品的強度	5
1 心部強度對滲碳樣品強度的影響	5
2 滲碳層的性能對滲碳樣品強度的影響	14
3 影響過渡層發生塑性變形的因素	16
4 滲碳層厚和樣品尺寸對滲碳樣品強度的影響	20
5 脆性破壞和韌性破壞	25
第二章 動彎曲（沖擊）試驗時滲碳樣品的強度	29
第三章 滲碳鋼的疲勞強度	42
1 滲碳層或氮化層厚對疲勞強度的影響	43
2 心部強度對滲碳後疲勞強度的影響	46
3 滲碳層金相組織和面層含碳量的影響	50
4 缺口樣品的疲勞強度	53
第四章 滲碳鋼的耐磨性能	59
第五章 滲碳層的機械性能	71
1 滲碳層的強度和塑性	71
2 滲碳層的組織對其強度的影響	77
3 合金元素對滲碳層強度和塑性的影響	87
4 低溫回火對滲碳層強度的影響	94
第六章 滲碳零件的內應力	97
第七章 滲碳鋼的強度理論在汽車齒輪上的應用	104
1 汽車齒輪的損壞形式	105
2 牙齒斷裂	110
3 牙齒的端末損壞	118
4 牙齒工作表面的接觸疲勞破壞	122
5 牙齒的疲勞斷裂	129

6 牙齿工作表面磨损	143
第八章 渗碳钢料的选择	145
1 对渗碳钢材的要求	145
2 渗碳钢材的含碳量	150
参考文献	163

渗碳鋼的强度

姚貴升編譯

內 容 簡 介

本书系参考国外有关文献編写的，首先討論渗碳鋼的弯曲强度、冲击韧性、耐磨性能和疲劳性能等問題，并研究影响上述性能的各种因素，接着論述渗碳齒輪的破坏形式及影响齒輪使用寿命的因素，最后討論渗碳鋼材的选擇問題。

本书主要讀者对象系从事汽車制造的工程技術人員，也可供一般机械制造厂和鋼厂在选用鋼材及研究新鋼种时的参考。

NO 3187

1960年3月第一版 1960年3月第一版第一次印刷

787×1092 1/32 字数 108 千字 印張 5 2/16 0,001— 3,350 册

机械工业出版社(北京阜成门内大街25号)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业許可証出字第 008 号

定 价 (11) 0.81 元

目 次

第一章 靜彎曲試驗時滲碳樣品的強度	5
1 心部強度對滲碳樣品強度的影響	5
2 滲碳層的性能對滲碳樣品強度的影響	14
3 影響過渡層發生塑性變形的因素	16
4 滲碳層厚和樣品尺寸對滲碳樣品強度的影響	20
5 脆性破壞和韌性破壞	25
第二章 動彎曲（沖擊）試驗時滲碳樣品的強度	29
第三章 滲碳鋼的疲勞強度	42
1 滲碳層或氮化層厚對疲勞強度的影響	43
2 心部強度對滲碳後疲勞強度的影響	46
3 滲碳層金相組織和面層含碳量的影響	50
4 缺口樣品的疲勞強度	53
第四章 滲碳鋼的耐磨性能	59
第五章 滲碳層的機械性能	71
1 滲碳層的強度和塑性	71
2 滲碳層的組織對其強度的影響	77
3 合金元素對滲碳層強度和塑性的影響	87
4 低溫回火對滲碳層強度的影響	94
第六章 滲碳零件的內應力	97
第七章 滲碳鋼的強度理論在汽車齒輪上的應用	104
1 汽車齒輪的損壞形式	105
2 牙齒斷裂	110
3 牙齒的端末損壞	118
4 牙齒工作表面的接觸疲勞破壞	122
5 牙齒的疲勞斷裂	129

6 牙齿工作表面磨损	143
第八章 渗碳钢料的选择	145
1 对渗碳钢材的要求	145
2 渗碳钢材的含碳量	150
参考文献	163

第一章 靜彎曲試驗時滲碳樣品的強度

1 心部強度對滲碳樣品強度的影響

為了研究心部強度對滲碳樣品強度的影響，別列里曼 [4] 用十三種鋼材的偽滲碳和二面滲碳後的樣品進行了彎曲試驗，由於十三種鋼材的化學成分不同和樣品的斷面尺寸（從 10 毫米到 25 毫米）不同而得到了不同的心部強度。將偽滲碳樣品的彎曲降服強度和滲碳樣品的彎曲降服強度劃成曲線如圖 1 所示，隨著偽滲碳樣品強度（即心部強度）提高而使滲碳後樣品的強度也提高了，說明心部性能對滲碳後性能的顯著影響。

同樣，麥克米倫 [3] 用數種鋼材進行了試驗，我們選擇其中六種鋼材的試驗結果進行了整理。六種鋼材的成分列於表 1。

將上述六種鋼材作成 $19 \times 19 \times 254$ 毫米的樣品在 930°C 經 6 小時和 22 小時的滲碳處理以便得到 0.7~0.9 毫米和 1.5~2.0 毫米的滲碳層厚，滲碳後的樣品一部分直接從滲碳罐取出淬火，另一部分經過二次淬火，二次淬火的工藝列於表 2。

偽滲碳樣品在 930°C 經加熱 8 小時後直接淬火和二次淬火，二次淬火的工藝與滲碳樣品的工藝相同。熱處理時毛坯尺寸為 $\phi 22$ 毫米，熱處理後再車取試樣。

滲碳後直接淬火時心部強度與滲碳樣品彎曲強度的關係

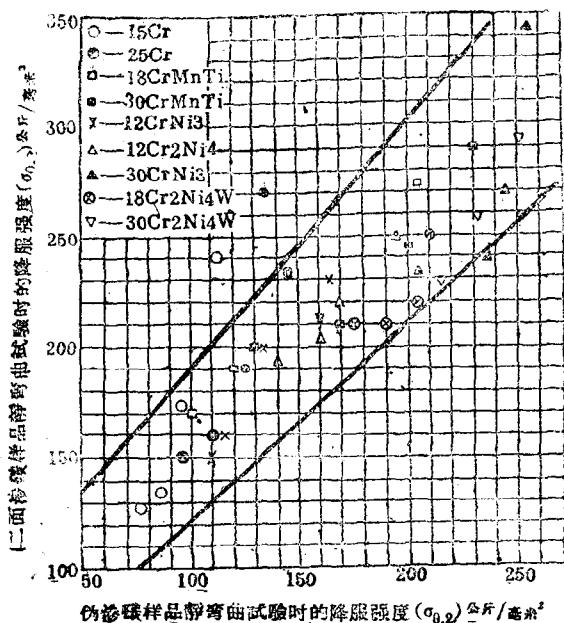


图1 伪渗碳的性能(即心部性能)对渗碳后性能的影响900~920°C, 9小时渗碳样品的渗碳层厚0.8~1.2毫米。

表1 試驗用六种鋼材的成分

鋼 号	C	Mn	P	S	Ni	Cr	V	Mo	Si	冶炼方法
20	0.16	0.59	0.029	0.038					0.23	平炉
15Ni3	0.19	0.61	0.012	0.021	3.62				0.23	平炉
15CrNi	0.18	0.48	0.019	0.031	1.32	0.65			0.25	电炉
15Ni2Mo	0.17	0.54	0.017	0.020	1.77			0.25	0.29	电炉
12Ni5	0.15	0.53	0.019	0.029	5.00				0.14	电炉
15CrV	0.18	0.76	0.019	0.034		0.88	0.18		0.19	电炉

表 2 六种鋼材二次淬火工艺

鋼 号	第一次淬火	第二次淬火
20	885°C 淬油	830°C 淬水
15Ni3	843°C 淬油	750°C 淬油
15CrNi	843°C 淬油	830°C 淬油
15Ni2Mo	843°C 淬油	760°C 淬油
12Ni5	843°C 淬油	730°C 淬油
15CrV	900°C 淬油	800°C 淬油

示于图 2，从該图可以看出：随着心部强度的增加，渗碳样品的弯曲强度也增加，但是在相同的心部强度时，渗碳层較厚的样品弯曲强度較低。这是由于渗碳层較深的样品面层組織不良而引起了整个渗

碳样品强度的降低。将渗碳层厚度不同的样品經過二次淬火后再进行弯曲試驗时，在相同的心部强度情况下，渗碳层較

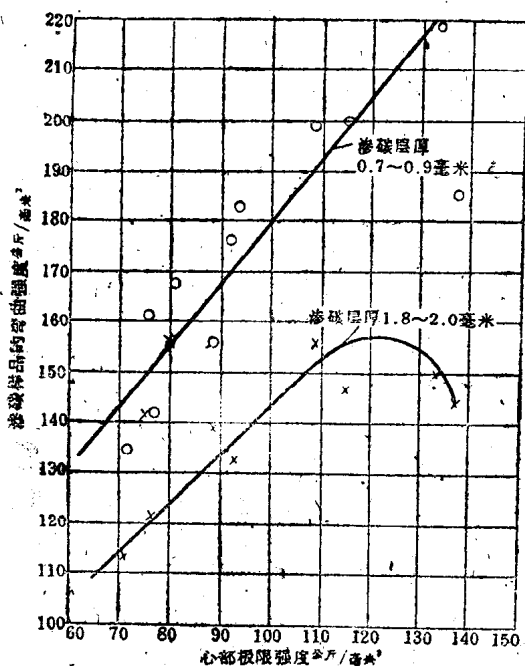


图 2 心部强度对渗碳样品强度的影响 (直接淬火)。

深的样品的弯曲强度并不降低反而略有增加，这种关系如图3所示，因为二次淬火后改善了渗碳层較深样品的面层組織。关于渗碳层的厚度对渗碳样品强度的影响以后我們还要詳細討論。总之，不管渗碳层的厚度，心部强度的增加会促使渗碳样品强度的增加。

別列里曼和麦克米倫的試驗都是用化学成分不同的鋼材进行的，因此除去心部强度的影响以外渗碳层的化学成分也可能影响渗碳样品的弯曲强度，为了消除化学成分对渗碳层性能的影响馬路斯等[6]采用了四种合金元素含量相同但含碳量不同的鋼材进行試驗，因为合

金元素相同的鋼渗碳后表面的成分相同因而渗碳层的性能相同，但心部由于含碳量不同渗碳淬火后性能也将不相同，这样我們便可以看出心部性能对渗碳样品性能的影响。

为了以后研究渗碳层的性能对渗碳样品性能的影响采用二种含碳量相同但含合金元素不同的鋼材进行試驗，由于心

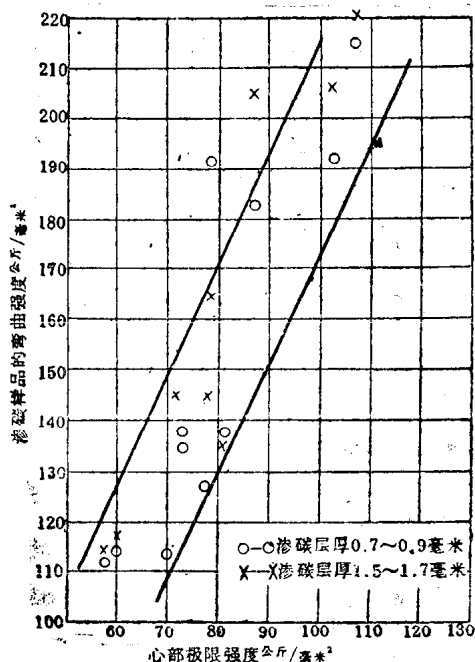


图3 心部强度对渗碳样品强度的影响（二次淬火）。

部含碳量相同淬火回火后强度相近，但由于合金元素不同渗碳后渗碳层性能不同，这样便可以了解渗碳层的性能对渗碳样品性能的影响。

試驗鋼材的成分列于表 3。

将表 3 所列的鋼材按渗碳齒輪的热处理工艺处理后（伪渗碳后淬火回火）的机械性能列于表 4。

表 3 試驗用鋼的化学成分

序 号	鋼 号	化 学 成 分 (%)						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
1	12CrNi3	0.12	0.43	0.25	1.28	3.35	0.016	0.017
2	14CrNi3	0.14	0.40	0.24	1.32	3.45	0.018	0.021
3	24CrNi3	0.24	0.38	0.22	1.30	3.50	0.012	0.027
4	37CrNi3	0.37	0.37	0.35	1.28	3.28	0.019	0.021
5	40Cr	0.40	0.35	0.23	0.98	0.21	0.020	0.025

表 4 表 3 列出的五种鋼材的机械性能

序 号	鋼 号	机 械 性 能					
		极限强度 σ_b 公斤/毫米 ²	降服强度 σ_s 公斤/毫米 ²	延伸率 δ %	面缩率 ψ %	冲击值 a_K 公斤-米/厘米 ²	硬度 H_B
1	12CrNi3	119.2	100.0	12.2	62.6	12.3	321
		120.3	102.8	11.4	61.6	11.7	321
		120.5	103.0	12.8	61.7	12.2	321
2	14NiCr3	131.0	103.9	11.2	61.4	10.6	375
		131.1	107.8	11.5	62.1	11.4	375
		131.1	108.5	12.0	60.7	10.2	375
3	24NiCr3	154.8	140.0	10.0	57.0	8.4	444
		157.6	138.8	10.7	57.7	7.7	444
		156.0	136.7	10.7	58.0	8.6	444
4	37CrNi3	161.0	149.0	9.8	49.5	4.9	512
		162.3	150.0	9.9	48.9	5.1	512
		163.1	149.3	8.6	48.5	5.2	512
5	40Cr					0.7	532
						1.1	532
						0.7	532

从表 4 可以看出：含碳不同的鎳鉻鋼經仿滲碳（即滲碳樣品的心部）后的性能相差很多，随着含碳量由 0.12% 提高到 0.37%，极限强度由 120 公斤/毫米² 提高到 162 公斤/毫米²，硬度由 H_B 320 提高到 H_B 510，冲击值由 12 公斤-米/厘米² 降到 5 公斤-米/厘米²。

40Cr 鋼的硬度和 37CrNi3 相近，但是其冲击值低得多，拉力試驗时 40Cr 鋼样品断在头部所以沒有求出拉力試驗数据。

滲碳后的样品进行弯曲試驗，样品尺寸是 15×15×100 毫米，沒有缺口。样品四周都滲碳到层厚为 1.4~1.6 毫米，选择这样的样品是力图 and 齒輪的牙齒相近。在 20 吨压力机上进行試驗，跨距 80 毫米，用蔡司指示器測量撓度，每增加負荷 200 公斤讀一次撓度讀数。降服力是由放大倍数較大的弯曲图中找出，采用撓度为 0.03 毫米时的負荷作为降服力。

样品滲碳层的組織都是馬氏体 + 少量球狀碳化物，心部組織都是馬氏体，只是 12CrNi3 鋼心部組織中仍保留有未溶解的鐵素体。

滲碳样品弯曲試驗的結果列于表 5。

表 5 的数据說明：滲碳样品的最大弯曲力和降服弯曲力随着心部硬度之增加而增加（图 1）而且最大撓度 $f_{\max}$ 也随心部硬度之增加而增加（图 5）。

滲碳样品的降服（即当負荷为 P_s 时会发生塑性变形）实际上是由于在脆的滲碳层与心部交界处的过渡层的塑性变形所致。为了証实这点又进行了下列試驗，即将不滲碳的但是经过淬火和低温回火的 14CrNi3，24CrNi3 和 37CrNi3 的

表 5 渗碳样品弯曲试验结果

序号	钢 号	渗碳层厚 (毫米)	渗碳层 硬 度 (R_c)	心部硬度 (H_R)	弯 曲 试 验 结 果				
					最大弯曲力 P_{max} (公斤)	平均 (公斤)	降服弯曲力 P_s (公斤)	平均 (公斤)	最大挠度 f_{max} (毫米)
1	12CrNi3	1.45	60	321	5600	5830	4400	4433	1.35
		1.50	61	321	5800	5830	4300	4433	1.42
		1.55	61	321	6080	5830	4600	4433	1.61
2	14CrNi3	1.50	60	375	7000	6470	5000	4933	1.62
		1.50	61	375	6000	6470	5100	4933	1.46
		1.50	61	375	6400	6470	4700	4933	1.70
3	24CrNi3	1.45	61	444	7460	7520	5300	5667	1.72
		1.50	60	444	7200	7520	5900	5667	1.70
		1.50	61	444	7900	7520	5800	5667	1.98
4	37CrNi3	1.50	61	512	9000	8830	6500	6600	2.09
		1.50	60	512	8900	8830	6500	6600	2.00
		1.55	61	512	8600	8830	6800	6600	1.86
5	40Cr	1.45	61	532	6000	6070	—	—	1.13
		1.45	61	532	6000	6070	—	—	1.14
		1.50	61	532	6200	6070	—	—	1.17

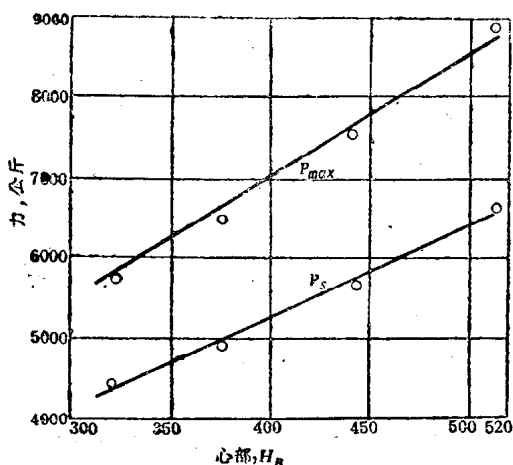


图 4 渗碳样品的强度和心部硬度的关系。

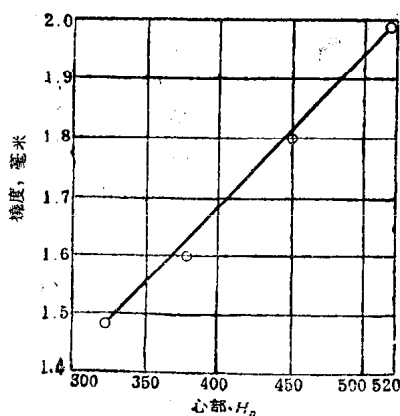


图 5 渗碳样品的硬度和心部硬度的关系。

样品按渗碳样品同样条件进行试验求出 P_s 并且按公式 $\sigma = \frac{M}{W}$ 计算不渗碳样品的最外层和渗碳样品距表面 1.5 毫米处的降服强度 σ_s ，试验结果列于表 6。

表6 渗碳样品和不渗碳样品的 σ_s 比较

序 号	鋼 号	处 理 情 况	降服力 P_s 公斤	降服强度 σ_s 公斤/毫米 ²
1	14CrNi3	渗 碳	4933	139
		不 渗 碳	4200	149
2	24CrNi3	渗 碳	5667	162
		不 渗 碳	4800	170
3	37CrNi3	渗 碳	6600	188
		不 渗 碳	5600	198

不渗碳样品和渗碳样品的降服强度数值相近证明了渗碳样品的降服是由于过渡层塑性变形所致。

为了解释为什么 P_{max} 、 P_s 会随着心部硬度增加而增加，可以用图6来说明。

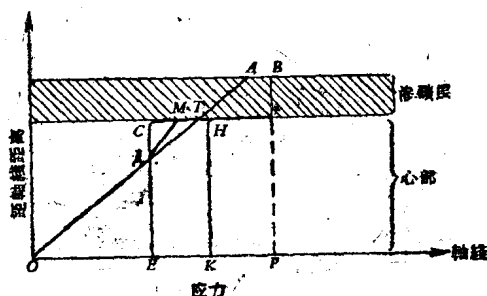


图6 弯曲试验时应力和渗碳样品性能之间的关系。

纵座标表示距样品轴线的距离，横座标表示应力的的大小， OE 和 OK 分别表示心部硬度低的和心部硬度高的样品的降服强度， OP 表示渗碳层的极限强度，心部硬度低的和心部硬度高的样品渗碳层极限强度相同都用 OP 表示。加弯曲负荷后，样品断面上应力分布如 OA 所示，心部硬度较高的样品没有发生塑性变形，因为在断面各部位由于弯曲负荷而引起的应力都没有超材料的降服强度 OK ，而心部硬度低的样品在同样应力状态下在过渡层厚为 CA 部分由于应力超过了材料的降服强度 OE 而发生了塑性变形，在这种情况下沿样品断面的应力分