

麗台國際有限公司

Lead Taiwan International Corporation

台中市台灣大道二段 285 號 20F

TEL : 886-423232026 , Website : www.ltic.com.tw ,

Email : salestw@ltic.com.tw



文件序號：T2020037

技術類別：《齒輪應用》

| | |
|------|-------------------------------|
| 技術類別 | 齒輪應用 |
| 篇名 | 齒輪硬度與強度的關係 |
| 重點 | 齒輪硬度與強度的關係 |
| 產出日期 | 2020/02/10 |
| 資料來源 | 日本 KHK / 台灣昭源提供 麗台國際有限公司整理 |



最近研讀 KHK 有關齒輪的技術資料，發現在計算齒輪的彎曲強度中，容許齒根彎曲應力這個參數與材料的芯部硬度有關，過去公司前輩的經驗都說齒輪要外硬內韌，因此芯部硬度都要求不能太硬（HRC 2x），但若從 KHK 的資料顯示芯部硬度似乎越高越好（上限 HRC40），想請問齒輪芯部硬度的範圍應該如何決定？

另外，高周波淬火和滲碳淬火比較，滲碳淬火的齒輪容許齒根彎曲應力比高周波淬火來得好（主要還是因為芯部硬度較高），是不是表示齒輪材料選擇低碳合金鋼（滲碳淬火）比中碳合金鋼（高周波淬火）好呢？

齒輪材料的強度可分為二類來探討：

彎曲強度（抗折強度、抗張強度、Bending Strength）和
 面壓強度（表面強度、赫茲強度、Surface Strength、Fatigue Strength）

彎曲強度，是著重在齒輪的抗彎曲、抗折的能力。

其他條件不變，齒輪齒面的硬度對於齒輪材料的彎曲強度（ σ_{Flim} ）的幫助是有限的，有時甚至會使齒輪的彎曲強度下降。（請參考表 10.6，10.7，10.8）

表 10.6 高周波淬火齒輪

| | 材 料 (箭頭所示為參考範圍) | 高周波淬火前的 熱處理條件 | 心部硬度 | | 齒面硬度 H_V | σ_{Flim} kgf/mm ² |
|------------|--|------------------|-----------------|----------------|------------|--|
| | | | H _{II} | H _V | | |
| 完全淬火到齒底部 | 構造用碳鋼 S48C ↔ S43C | 正常化處理 | 160 | 167 | 550 以上 | 21 |
| | | | 180 | 189 | * | 21 |
| | | | 220 | 231 | * | 21.5 |
| | | | 240 | 252 | * | 22 |
| | | | 200 | 210 | 550 以上 | 23 |
| | 構造用碳鋼 S48C ↔ S43C | 洋火回火處理 | 210 | 221 | * | 23.5 |
| | | | 220 | 231 | * | 24 |
| | | | 230 | 242 | * | 24.5 |
| | | | 240 | 252 | * | 25 |
| | | | 250 | 263 | * | 25 |
| | 構造用合金鋼 SMn443 ↔ SCM440 ↔ SNC836 ↔ SNCM439 | 洋火回火處理 | 230 | 242 | 550 以上 | 27 |
| | | | 240 | 252 | * | 28 |
| | | | 250 | 263 | * | 29 |
| | | | 260 | 273 | * | 30 |
| | | | 270 | 284 | * | 31 |
| 前根部不淬硬的情況下 | | | 280 | 295 | * | 32 |
| | | | 290 | 305 | * | 33 |
| | | | 300 | 316 | * | 34 |
| | | | 310 | 327 | * | 35 |
| | | | 320 | 337 | * | 36.5 |

備註： σ_{Flim} 之值，受淬裂、淬火深度不足或不均勻等缺陷之影響，會顯著下降，請多加注意。

注(1) 齒面硬度低時， σ_{Flim} 值使用表 10.5 中的與之相當的材料之值。



表 10.7 滲碳淬火齒輪

| | 材 料 (箭頭所示為參考範圍) | 心部硬度 | | σ_{Flim} kgf/mm ² |
|------------|---|----------------|----------------|--|
| | | H _B | H _V | |
| 構造用 碳鋼 | S15C S15CK | 140 | 147 | 18.2 |
| | | 150 | 157 | 19.6 |
| | | 160 | 167 | 21 |
| | | 170 | 178 | 22 |
| | | 180 | 189 | 23 |
| | | 190 | 200 | 24 |
| 構造用 合金鋼 | SCM415 SCM420 SNC415 SNCM420 SNC815 | 220 | 231 | 34 |
| | | 230 | 242 | 36 |
| | | 240 | 252 | 38 |
| | | 250 | 263 | 39 |
| | | 260 | 273 | 41 |
| | | 270 | 284 | 42.5 |
| | | 280 | 295 | 44 |
| | | 290 | 305 | 45 |
| | | 300 | 316 | 46 |
| | | 310 | 327 | 47 |
| | | 320 | 337 | 48 |
| | | 330 | 347 | 49 |
| | | 340 | 358 | 50 |
| | | 350 | 369 | 51 |
| | | 360 | 380 | 51.5 |
| 370 | 390 | 52 | | |

注(2) 本表中數值適用於為提高面壓強度而有適當滲碳深度及表面硬度的齒輪。在滲碳層非常薄之例外情況時，應使用未經表面硬化淬火回火處理齒輪的 σ_{Flim} 值。

表 10.8 氮化齒輪 摘自 JGMA403-01(1976)

| 材 料 | 齒面硬度 (參考值) | 心部硬度 | | σ_{Flim} kgf/mm ² |
|--------------|-----------------------|----------------|----------------|--|
| | | H _B | H _V | |
| 氮化鋼以外的構造用合金鋼 | H _V 650 以上 | 220 | 231 | 30 |
| | | 240 | 252 | 33 |
| | | 260 | 273 | 36 |
| | | 280 | 295 | 38 |
| | | 300 | 316 | 40 |
| | | 320 | 337 | 42 |
| | | 340 | 358 | 44 |
| | | 360 | 380 | 46 |
| 氮化鋼 SACM645 | H _V 650 以上 | 220 | 231 | 32 |
| | | 240 | 252 | 35 |
| | | 260 | 273 | 38 |
| | | 280 | 295 | 41 |
| | | 300 | 316 | 44 |

注(1) 本表中數值適用於為提高面壓強度而有適當氮化深度的齒輪。在軟氮化等氮化層非常薄之例外情況時，應使用未經表面硬化淬火回火處理齒輪的 σ_{Flim} 值。

但是，如果同一材料，將齒輪的芯部硬度提高，則對齒輪材料的彎曲強度 (σ_{Flim}) 是有明顯的正向幫助。(請參考表 10.5)



表 10.5 未經表面硬化的齒輪

| 材料 (箭頭所示為參考範圍) | | 心部硬度 | | 抗拉強度下限 kgf/mm ² (參考值) | σ_{E10} kgf/mm ² |
|----------------|---|----------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| | | H _B | H _V | | |
| 鑄鋼齒輪 | SC37 | | | 37 | 10.4 |
| | SC42 | | | 42 | 12 |
| | SC46 | | | 46 | 13.2 |
| | SC49 | | | 49 | 14.2 |
| | SCC3 | | | 55 | 15.8 |
| | | | | 60 | 17.2 |
| 正常化處理碳鋼齒輪 | S25C S35C S43C S48C S53C S58C | 120 | 126 | 39 | 13.8 |
| | | 130 | 136 | 42 | 14.8 |
| | | 140 | 147 | 45 | 15.8 |
| | | 150 | 157 | 48 | 16.8 |
| | | 160 | 167 | 51 | 17.6 |
| | | 170 | 178 | 55 | 18.4 |
| | | 180 | 189 | 58 | 19 |
| | | 190 | 200 | 61 | 19.5 |
| | | 200 | 210 | 64 | 20 |
| | | 210 | 221 | 68 | 20.5 |
| | | 220 | 231 | 71 | 21 |
| | | 230 | 242 | 74 | 21.5 |
| | | 240 | 252 | 77 | 22 |
| | | 250 | 263 | 81 | 22.5 |
| | | 淬火回火處理碳鋼齒輪 | S35C S43C S48C S53C S58C | 160 | 167 |
| 170 | 178 | | | 55 | 19.4 |
| 180 | 189 | | | 58 | 20.2 |
| 190 | 200 | | | 61 | 21 |
| 200 | 210 | | | 64 | 22 |
| 210 | 221 | | | 68 | 23 |
| 220 | 231 | | | 71 | 23.5 |
| 230 | 242 | | | 74 | 24 |
| 240 | 252 | | | 77 | 24.5 |
| 250 | 263 | | | 81 | 25 |
| 260 | 273 | | | 84 | 25.5 |
| 270 | 284 | | | 87 | 26 |
| 280 | 295 | | | 90 | 26 |
| 290 | 305 | | | 93 | 26.5 |
| 淬火回火處理合金鋼齒輪 | SMn443 SNC836 SCM435 SCM440 SNCM439 | | | 220 | 231 |
| | | 230 | 242 | 74 | 26 |
| | | 240 | 252 | 77 | 27.5 |
| | | 250 | 263 | 81 | 28.5 |
| | | 260 | 273 | 84 | 29.5 |
| | | 270 | 284 | 87 | 31 |
| | | 280 | 295 | 90 | 32 |
| | | 290 | 305 | 93 | 33 |
| | | 300 | 316 | 97 | 34 |
| | | 310 | 327 | 100 | 35 |
| | | 320 | 337 | 103 | 36.5 |
| | | 330 | 347 | 106 | 37.5 |
| | | 340 | 358 | 110 | 39 |
| | | 350 | 369 | 113 | 40 |
| | | 360 | 380 | 117 | 41 |



面壓強度，則是著重在齒輪的抗疲勞、抗正面壓力的能力（在高速運轉或是長時間運轉時，必須要正視齒輪面壓強度是否足夠的問題）

其他條件不變，齒輪芯部硬度對齒輪材料的面壓強度（ σ_{Hlim} ）是稍有幫助的。（請參考表 10.12）

表 10.12 未經表面硬化的齒輪

| 材 料 (箭頭所示為參考範圍) | 芯部硬度 | | 抗拉強度下限 kgf/mm ² (參考值) | σ_{Hlim} kgf/mm ² | | |
|-----------------|----------------|----------------|--|--|------|------|
| | H _B | H _V | | | | |
| 鑄鋼 | SC37 | | 37 | 34 | | |
| | SC42 | | 42 | 35 | | |
| | SC46 | | 46 | 36 | | |
| | SC49 | | 49 | 37 | | |
| | SCC3 | | 55 | 39 | | |
| | | | 60 | 40 | | |
| 構造用正常化處理碳鋼 | S25C | 120 | 126 | 39 | 41.5 | |
| | | 130 | 136 | 42 | 42.5 | |
| | | 140 | 147 | 45 | 44 | |
| | S35C | 150 | 157 | 48 | 45 | |
| | | 160 | 167 | 51 | 46.5 | |
| | | 170 | 178 | 55 | 47.5 | |
| | S43C | 180 | 189 | 58 | 49 | |
| | | 190 | 200 | 61 | 50 | |
| | | 200 | 210 | 64 | 51.5 | |
| | S48C | 210 | 221 | 68 | 52.5 | |
| | | 220 | 231 | 71 | 54 | |
| | S53C | 230 | 242 | 74 | 55 | |
| | S58C | 240 | 253 | 77 | 56.5 | |
| | | 250 | 263 | 81 | 57.5 | |
| | 構造用淬火回火處理碳鋼 | | 160 | 167 | 51 | 51 |
| | | | 170 | 178 | 55 | 52.5 |
| S35C | | 180 | 189 | 58 | 54 | |
| | | 190 | 200 | 61 | 55.5 | |
| | | 200 | 210 | 64 | 57 | |
| | | 210 | 221 | 68 | 58.5 | |
| | | 220 | 231 | 71 | 60 | |
| S43C | | 230 | 242 | 74 | 61 | |
| | | 240 | 252 | 77 | 62.5 | |
| | | 250 | 263 | 81 | 64 | |
| S48C | | 260 | 273 | 84 | 65.5 | |
| | | 270 | 284 | 87 | 67 | |
| S53C | | 280 | 295 | 90 | 68.5 | |
| S58C | | 290 | 305 | 93 | 70 | |
| | | 300 | 316 | 97 | 71 | |
| | | 310 | 327 | 100 | 72.5 | |
| | 320 | 337 | 103 | 74 | | |
| | 330 | 347 | 106 | 75.5 | | |
| | 340 | 358 | 110 | 77 | | |
| | 350 | 369 | 113 | 78.5 | | |

表 10.12 未經表面硬化的齒輪 (續)

| 材 料 (箭頭所示為參考範圍) | 芯部硬度 | | 抗拉強度下限 kgf/mm ² (參考值) | σ_{Hlim} kgf/mm ² | |
|-----------------|----------------|----------------|--|--|------|
| | H _B | H _V | | | |
| 構造用淬火回火處理合金鋼 | | 220 | 231 | 71 | 70 |
| | | 230 | 242 | 74 | 71.5 |
| | | 240 | 252 | 77 | 73 |
| | | 250 | 263 | 81 | 74.5 |
| | | 260 | 273 | 84 | 76 |
| | | 270 | 284 | 87 | 77.5 |
| | SMn443 | 280 | 295 | 90 | 79 |
| | | 290 | 305 | 93 | 81 |
| | | 300 | 316 | 97 | 82.5 |
| | SNC836 | 310 | 327 | 100 | 84 |
| | SCM435 | 320 | 337 | 103 | 85.5 |
| | | 330 | 347 | 106 | 87 |
| | SCM440 | 340 | 358 | 110 | 88.5 |
| | | 350 | 369 | 113 | 90 |
| | SNCM439 | 360 | 380 | 117 | 92 |
| | | 370 | 391 | 121 | 93.5 |
| | 380 | 402 | 126 | 95 | |
| | 390 | 413 | 130 | 96.5 | |
| | 400 | 424 | 135 | 98 | |



如果同一材料，對齒面已經硬化的齒輪而言，則齒面硬度的高低，對於齒輪材料的面壓強度（ σ_{Hlim} ）是沒有明顯的幫助的。（請參考表 10.13，10.14）

但是，同一材料，齒面硬化的有與無，則對於齒輪材料的面壓強度（ σ_{Hlim} ）是有明顯的影響。（請對照參考表 10.12 與 10.13，10.14）

表 10.13 高周波淬火齒輪

| | 材 料 | 高周波淬火前的熱處理條件 | 齒面硬度 | σ_{Hlim} |
|--------|--------|--------------|----------------------|---------------------|
| | | | H _v (淬火後) | kgf/mm ² |
| 構造用碳鋼 | S43C | 正常化處理 | 420 | 77 |
| | | | 440 | 80 |
| | | | 460 | 82 |
| | | | 480 | 85 |
| | | | 500 | 87 |
| | | | 520 | 90 |
| | | | 540 | 92 |
| | | | 560 | 93.5 |
| | | | 580 | 95 |
| | 600 以上 | 96 | | |
| | S48C | 淬火回火處理 | 500 | 96 |
| | | | 520 | 99 |
| | | | 540 | 101 |
| | | | 560 | 103 |
| | | | 580 | 105 |
| | | | 600 | 106.5 |
| | | | 620 | 107.5 |
| | | | 640 | 108.5 |
| 660 | | | 109 | |
| 構造用合金鋼 | SMn443 | 淬火回火處理 | 500 | 109 |
| | | | 520 | 112 |
| | | | 540 | 115 |
| | | | 560 | 117 |
| | | | 580 | 119 |
| | | | 600 | 121 |
| | | | 620 | 123 |
| | | | 640 | 124 |
| | | | 660 | 125 |
| | | | 680 以上 | 126 |

表 10.14 滲碳淬火齒輪

| | 材 料 | 有效滲碳深度 (1) | 齒面硬度 | σ_{Hlim} | | | |
|----------------------|---------------|-------------------|----------------|---|-------------------|-----|-----|
| | | | H _v | kgf/mm ² | | | |
| 構造用碳鋼 | S15C S15CK | 比較淺的情況下 注(1) A | 580 | 115 | | | |
| | | | 600 | 117 | | | |
| | | | 620 | 118 | | | |
| | | | 640 | 119 | | | |
| | | | 660 | 120 | | | |
| | | | 680 | 120 | | | |
| | | | 700 | 120 | | | |
| | | | 720 | 119 | | | |
| | | | 740 | 118 | | | |
| | | | 760 | 117 | | | |
| | | | 780 | 115 | | | |
| | | | 800 | 113 | | | |
| | | | 構造用合金鋼 | SCM415 SCM420 SNC420 SNC815 SNCM420 | 比較淺的情況下 注(1) A | 580 | 131 |
| | | | | | | 600 | 134 |
| 620 | 137 | | | | | | |
| 640 | 138 | | | | | | |
| 660 | 138 | | | | | | |
| 680 | 138 | | | | | | |
| 700 | 138 | | | | | | |
| 720 | 137 | | | | | | |
| 740 | 136 | | | | | | |
| 760 | 134 | | | | | | |
| 780 | 132 | | | | | | |
| 800 | 130 | | | | | | |
| 比較深的情況下 注(1) B 以上 | 580 | 156 | | | | | |
| | 600 | 160 | | | | | |
| | 620 | 164 | | | | | |
| | 640 | 166 | | | | | |
| | 660 | 166 | | | | | |
| | 680 | 166 | | | | | |
| | 700 | 164 | | | | | |
| | 720 | 161 | | | | | |
| | 740 | 158 | | | | | |
| | 760 | 154 | | | | | |
| 780 | 150 | | | | | | |
| 800 | 146 | | | | | | |

注 (1) 有效滲碳深度比較淺的情況是指下表中 A 行的深度數值而言，比較深的情況係指表中 B 行深度數值而言。有效滲碳深度為硬度達到 H_v513 (H_vC50) 的硬化層深度。研齒齒輪則採取研齒後的硬化層深度。

| 模數 | 1.5 2 3 4 5 6 8 10 15 20 25 | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| 深度(mm) | B | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 2.0 | 2.5 | 3.4 |

備考：特別是在大齒數齒輪組之咬合時，由於齒面的面壓所引發的最大剪力，會發生在較深的內部，因此在滲碳效果不佳的狀況下，應特別注意並增大齒輪的安全率 S₀。