

問：

您好，

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？

再麻煩您撥冗回答，謝謝

答：

謝謝提問，

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 (  $\sigma_{Flim}$  ) 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 <sup>(1)</sup> H <sub>V</sub>	$\sigma_{Flim}$ kgf/mm <sup>2</sup>
			H <sub>B</sub>	H <sub>V</sub>		
完全淬火到 齒底部	構造 用 碳 鋼	正常化處理	160	167	550 以上	21
			180	189	◇	21
			220	231	◇	21.5
			240	252	◇	22
	構造 用 碳 鋼	淬火回火處理	200	210	550 以上	23
			210	221	◇	23.5
			220	231	◇	24
			230	242	◇	24.5
			240	252	◇	25
			250	263	◇	25
			230	242	550 以上	27
	構造 用 合 金 鋼	淬火回火處理	240	252	◇	28
			250	263	◇	29
			260	273	◇	30
			270	284	◇	31
280			295	◇	32	
290			305	◇	33	
300			316	◇	34	
310	327	◇	35			
320	337	◇	36.5			
齒根部 不淬硬 的情況下					上記數值 的 75%	

備註： $\sigma_{Flim}$  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， $\sigma_{Flim}$  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		$\sigma_{Flim}$ kgf/mm <sup>2</sup>
		H <sub>B</sub>	H <sub>V</sub>	
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		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  $\sigma_{Flim}$  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		$\sigma_{Flim}$ kgf/mm <sup>2</sup>
		H <sub>B</sub>	H <sub>V</sub>	
氮化鋼以外的構造用合金鋼	H <sub>V</sub> 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 <sub>V</sub> 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  $\sigma_{Flim}$  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 ( $\sigma_{Flim}$ ) 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 <sup>2</sup> (參考值)	$\sigma_{Tens}$ kgf/mm <sup>2</sup>
		H <sub>B</sub>	H <sub>V</sub>		
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	120	126	39	13.8
		130	136	42	14.8
		140	147	45	15.8
		150	157	48	16.8
	S35C	160	167	51	17.6
		170	178	55	18.4
		180	189	58	19
		190	200	61	19.5
		200	210	64	20
	S43C	210	221	68	20.5
		220	231	71	21
	S48C	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	160	167	51	18.2
		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
	S43C	240	252	77	24.5
		250	263	81	25
	S48C	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	220	231	71
		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
SNC836		290	305	93	33
SCM435		300	316	97	34
		310	327	100	35
SCM440		320	337	103	36.5
		330	347	106	37.5
SNCM439		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（ $\sigma_{Hlim}$ ）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 <sup>2</sup> (參考值)	$\sigma_{Hlim}$ kgf/mm <sup>2</sup>	
	H <sub>B</sub>	H <sub>V</sub>			
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		120	126	39	41.5
		130	136	42	42.5
		140	147	45	44
		150	157	48	45
		160	167	51	46.5
		170	178	55	47.5
		180	189	58	49
		190	200	61	50
		200	210	64	51.5
		210	221	68	52.5
		220	231	71	54
		230	242	74	55
		240	253	77	56.5
		250	263	81	57.5
		160	167	51	51
		170	178	55	52.5
		180	189	58	54
		190	200	61	55.5
		200	210	64	57
		210	221	68	58.5
	220	231	71	60	
	230	242	74	61	
	240	252	77	62.5	
	250	263	81	64	
	260	273	84	65.5	
	270	284	87	67	
	280	295	90	68.5	
	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 <sup>2</sup> (參考值)	$\sigma_{Hlim}$ kgf/mm <sup>2</sup>	
	H <sub>B</sub>	H <sub>V</sub>			
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
		280	295	90	79
		290	305	93	81
		300	316	97	82.5
		310	327	100	84
		320	337	103	85.5
		330	347	106	87
		340	358	110	88.5
		350	369	113	90
		360	380	117	92
		370	391	121	93.5
		380	402	126	95
		390	413	130	96.5
		400	424	135	98

AMX 技術 FAQ

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 ( $\sigma_{Hlim}$ ) 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 ( $\sigma_{Hlim}$ ) 是有明顯的影響。(請對照參考表 10.12 與 10.13 · 10.14)

齒輪硬度與強度的關係

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	$\sigma_{Hlim}$
			H <sub>V</sub> (淬火後)	kgf/mm <sup>2</sup>
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		500	96
			520	99
			540	101
			560	103
580		105		
600		106.5		
620		107.5		
640	108.5			
660	109			
680 以上	109.5			
構造用 合金鋼	SMn443	淬火回火處理	500	109
	SCM435		520	112
	SCM440		540	115
	SNC836		560	117
	SNCM439		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	$\sigma_{Hlim}$
			H <sub>V</sub>	kgf/mm <sup>2</sup>
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<sub>V</sub>513(H<sub>R</sub>C50) 的硬化層深度。研磨齒輪則採取研磨後的硬化層深度。

模數	1.5	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	
深度(mm)	A	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8
	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 S<sub>lim</sub>。