

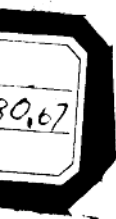
零件磨削后 表面质量的研究

(譯文集)

[苏联] A. B. 波德杰、B. E. 罗金诺夫、H. H. 諾維柯夫、
Г. З. 賽列布達尼柯夫合著



國防工業出版社



前 言

在切削加工時，當要求從坯料上切掉不太厚的金屬層和欲獲得精確尺寸、光潔表面以及不能用其他方法來加工的工件，可採用磨削加工。

近年來，液壓傳動機構已普遍地被利用到金屬切削機床上來了。而這種利用的所以能夠進而發展，主要是和它的各種基本構件：油泵、閥、壓力缸與各種機械裝置的發展分不開的。同時，由於金屬磨削的理論和實踐的飛躍進展，已成為金屬切削加工中佔着很重要地位的專門性工藝學科了。

本書試圖將各式磨床的典型結構原理和金屬磨削所積累的經驗系統化，因此，在本書內敘述了：加工表面的性質、砂輪的結構、磨床的種類和構造、磨削理論與磨削加工方法等。

金屬磨削加工是一門新興的專門工藝學科，因此，本書所提供的材料沒有強求完滿，並且也沒有貪圖把有關金屬磨削加工的所有問題都作全面的闡述。

編 者 一九五五年七月

參 考 文 獻

1. Лоскутов, В. В. Шлифовальное дело, Машгиз, 1953.
2. Розин, А. И. Слеарь-лекальщик, Машгиз, 1953.
3. Яшерицын, П. И. Скоростное шлифование, Машгиз, 1953.
4. Яшерицын, П. И. Шлифование, Машгиз, 1954.
5. Каратытин, А. М. Заточка и доводка режущего инструмента, Машгиз, 1954.
6. Ягнятинский, С. О. Автоматические линии для шлифования деталей подшипников, Машгиз, 1954.
7. Впти. Механизация отделочных операций, Машгиз, 1954.
8. Прокопович, А. Е. Модернизация круглошлифовальных станков для скоростного шлифования, Машгиз, 1952.
9. Алексеев, Г. А. Расчет и конструирование режущего инструмента, Машгиз, 1952.
10. Ачеркан, Н. С. Расчет и конструирование метал-

лорежущих станков, Машгиз, 1952.

11. Машиностроение энциклопедический справочник, том 7, Москва, 1949.

12. Аршинов, В. А. Резание металлов, 1953.

13. Резникоя, Н. И. Учение о резании металлов, Машгиз, 1947.

14. Herb, O. Machine Tool at Work, 1949.

15. Larson, E. T. Grinding Job Operation, American Technical Society, 1944.

16. Norton Co., A Handbook on Tool Room Grinding, 1938.

17. Parkinson, A. C. Thread Grinding and Measurement, 1949.

目 錄

第一章 加工表面的性質.....	1
1-1 金屬加工表面的性質.....	1
1-2 磨削加工的表面光滑度.....	5
1-3 磨削加工的經濟價值.....	6
第二章 砂輪的結構.....	7
2-1 磨料.....	7
2-2 粒度.....	9
2-3 黏結劑.....	10
2-4 硬度.....	10
2-5 組織.....	11
2-6 砂輪代表符號的排列順序.....	12
第三章 磨床的種類和構造.....	13
3-1 磨床的分類.....	13
3-2 液壓傳動原理.....	14
3-3 外圓磨床.....	23
3-4 內圓磨床.....	32
3-5 平面磨床.....	45
3-6 專能磨床.....	53
3-7 工具磨床.....	55
第四章 磨削理論.....	67
4-1 磨削過程的基本要素.....	67
4-2 磨削時切屑面積.....	73
4-3 磨削的規律性.....	75
第五章 磨削加工方法.....	84
5-1 粗磨和精磨.....	84
5-2 外圓柱的磨法.....	84
5-3 外圓錐的磨法.....	96
5-4 內圓柱孔的磨法.....	98
5-5 平面的磨法.....	103
5-6 定型磨法.....	108

第一章

加工表面的性質

經過切削加工過的金屬表面，不可能是絕對平滑的，這是因為在金屬表面上一定會留下刀刃的紋路或砂輪的痕跡的。這些痕跡呈凸起或凹下的山谷形狀。這種凸起或凹下的形狀和尺寸是隨加工方法、刀具及切削條件各具有一定的從各凸起處的頂部到凹下處的底部距離之平均尺寸。

1-1 金屬加工表面的性質 金屬加工表面的性質應包括：

(一)表面光滑度；(二)表面的物理性質。

(一)表面光滑度——所謂表面光滑度指表面平坦的程度，是從表面上存在凸起或凹下這一點出發來看表面的幾何形狀的。因此，表面光滑度只能說明加工表面的幾何性質。

表面光滑度包含下列兩個因素：

(1) 表面波度——金屬表面上或多或少有相似的波浪形存在着，這些波浪形是由於在機床上加工時所發生的振動而引起的，這種波浪形好像是在切削時刀具

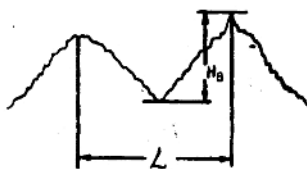


圖 1-1 加工表面的情形

與工件之間的週期振動的痕跡。波高 H_B (圖 1-1) 可以由小於 1~250 公微^①、有的甚至大於 250 公微。經過蘇聯科學院研究結果，證明：由機械加工的細加工(磨工、精車、精銑、剝工)的表面波度之值總是在 5~15 公微之間，波距 L 約在 15 公厘以內。

蘇聯規定表面波度等級標準草案如下：

波度等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9
波高上限(以公微計)	1	2	4	8	16	32	64	125	250或>250

(2) 表面微分粗糙度——分爲縱向和橫向兩種：縱向粗糙度由切削時主體運動方向決定；橫向即是在上述方向的垂直方向內。

此外，爲了從表面的微分粗糙度的觀點去判斷各種機械加工後的表面光滑度，在蘇聯還制定了表面光滑度(表面微分幾何形狀)的蘇聯國家標準 ГОСТ 2787-51。在這制度中，有兩種分級法：一種是按微分粗糙的平均平方根偏差來分的；另一種則按微分粗糙的平均高度來分的。

微分粗糙的平均平方根偏差(圖 1-2) 等於曲線上各點至基準線距離之平方和除以計量的點數，所得之商之平方根，其近似值爲：

$$H_{ok} = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_n^2}{n}} \quad (1-1)$$

① 1 公微 = 1/1000 公厘

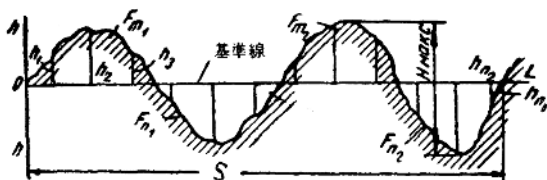


圖 1-2 加工表面凹下和凸起的放大視圖

上式的正確值為：

$$H_{ck} = \sqrt{\frac{1}{S} \int_0^S h^2 \cdot dS},$$

式中： H_{ck} ——表面粗糙的平均平方根偏差；

h ——曲線上各點至基準線的距離，分別為 $h_1, h_2, \dots, h_n$ ；

S ——計量的曲線寬度；

n ——計量點數；

基準線是指能使該線兩側的曲線所包含的面積彼此相等的平分線，即： $F_{m1} + F_{m2} + \dots = F_{n1} + F_{n2} + \dots$ 。

微分粗糙的平均高度是等於表面各部分之凹入地方的底到凸出地方頂端距離的算術平均值。

$$H_{cp} = \frac{1}{n} (H_1 + H_2 + \dots + H_n), \quad (1-2)$$

式中： H_{cp} ——微分粗糙的平均高度；

n ——計量之高度數量；

H ——波高，分別為 $H_1, H_2, \dots, H_n$ 。

表 1-1 為蘇聯國家標準 ГОСТ 2789-51 表面光滑度分級

表,其中5~12級光滑度適於用平均平方根偏差 H_{ck} 來表示,因為5~12級光滑度的表面用輪廓儀來度量很方便。13和14級適宜用平均高度 H_{cp} 來表示,因具有這兩級光滑度的表面是不能用輪廓儀度量的。1~4級亦適用 H_{cp} 表示,因具有這兩級光滑度的表面亦不能用輪廓儀來度量,適宜用肉眼比較法來衡量,即用一個可供比較用的樣品來與欲度量的表面比較。

表 1-1 ГOCT 2789-51 表面光度分級表

等級	光度符號	H_{ck} (公微)	H_{cp} (公微)
1	∇_1	—	125~200
2	∇_2	—	63~125
3	∇_3	—	40~63
4	$\nabla\nabla_4$	—	20~40
5	$\nabla\nabla_5$	3.2~6.3	—
6	$\nabla\nabla_6$	1.6~3.2	—
7	$\nabla\nabla\nabla_7$	0.8~1.6	—
8	$\nabla\nabla\nabla_8$	0.4~0.8	—
9	$\nabla\nabla\nabla_9$	0.2~0.4	—
10	$\nabla\nabla\nabla\nabla_{10}$	0.1~0.2	—
11	$\nabla\nabla\nabla\nabla_{11}$	0.05~0.1	—
12	$\nabla\nabla\nabla\nabla_{12}$	0.025~0.05	—
13	$\nabla\nabla\nabla\nabla_{13}$	—	0.06~0.12
14	$\nabla\nabla\nabla\nabla_{14}$	—	0.00~0.06

表面光滑度按其測量的方法可分為兩種：

1. 表面的[微分幾何形狀] 是指取表面上某一小塊面積來察看其幾何形狀；

2. 表面的[整形幾何形狀] 是指取表面上大塊面積或零件的某一表面全部來觀察時所見到的幾何形狀。

(二)表面的物理性質——是指加工表面層的物理性質,因為

表面金屬層的物理性質與工件內部的性質不同。表面金屬層的物理性質包括：因冷却或其他原因而引起的硬度變化；因切削壓力、溫度轉變或其他原因而引起的金屬顯微組織的變化等。

1-2 磨削加工的表面光滑度 金屬表面光滑度和所施用的加工方法有着密切的關係，鉋出的表面和鏜出表面的光度不同，而鏜削表面與磨削表面的光度也不一樣。圖 1-3 所示為幾種經過不同加工方法而獲得的表面光滑度。從圖中知道磨削表面的光滑度較鉋削、鏜削表面來得高，亦即工件表面波度較鉋削

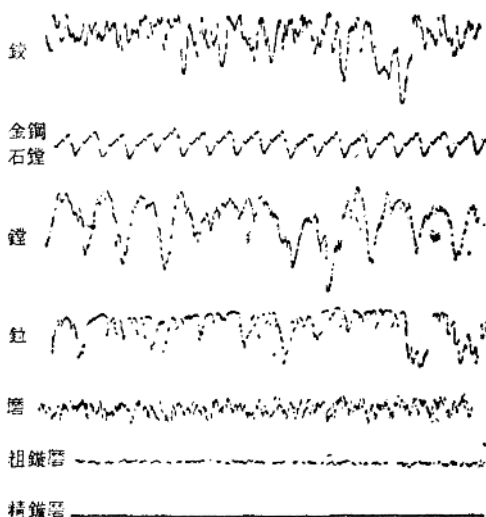


圖 1-3 由不同加工方法所獲得的各種表面光滑度

出的表面波度之 H_{ck} 爲小，一般多在 0.2~1.6 公微之間。這樣可以增加配合精度，減少磨損。

1-3 磨削加工的經濟價值 磨削加工的機件不局限於經過其他機床初步加工過的，就是鍛坯或鑄坯也能直接加工。因此，磨削加工成了生產上最經濟的一種加工方法：它不但能使經過磨削的機件得到光滑的表面，而且又能使加工後的機件達到相當高的精確度，這樣，在大量生產零件的互換性上起了很大的作用。

第二章

砂輪的結構

砂輪是磨削加工中主要的切削工具，它由磨料、粒度、黏結劑、硬度、組織等五個要素組合而成，其中磨料是起着割削作用的(圖 2-1)。

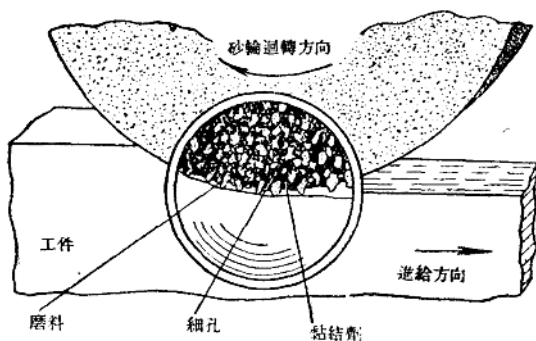


圖 2-1 砂輪割削情形

磨削前，對砂輪的選擇必須妥加考慮。現將有關構成砂輪的幾項要素敘述於下。

2-1 磨料 今日機器製造中所應用的磨料可分為天然磨料和人造磨料兩大類。

(一)天然磨料——常用的天然磨料為石英(SiO_2)、鋼玉和金剛砂狀態的氧化鋁(Al_2O_3)、金剛石(C)等。因大多數含有多量雜質,故現在用得不多。金剛石誰都知道是一種很堅硬的物質,但價格甚昂,亦少應用。

(二)人造磨料——天然磨料多少含有雜質,製成之砂輪不但不均勻,且效果亦不一。今日普遍採用的絕大部分是人造磨料,主要的有下列數種:

(1) 碳化矽(SiC)——分為:①綠色碳化矽(K3),純度在98%以上,用來磨銳硬質合金刀具刃口;②黑色碳化矽(K4),純度約95%,用來磨灰口鑄鐵、冷軋鐵、大理石、陶器等硬而脆的材料,同時也可磨削抗張強度低的材料,如黃銅、軟青銅、鋁、紫銅、橡皮和皮革等。

(2) 氧化鋁(Al_2O_3)——主要用以磨削鋼料。氧化鋁又可分為:①白色氧化鋁(ЭБ),含氧化鋁98~99%,主要磨淬火後的高速鋼等;②普通氧化鋁(Э),純度在86~91%,用以磨削普通鋼件。

(3) 碳化硼——是一種比較新的磨料,硬度甚高,適宜於刃磨硬質合金。

(4) 人造金剛石——雖然切削能力很大,但因製造成本很高,故用得不多。

磨 料	切削性能
金 剛 石	1
碳 化 硼	0.5
綠色碳化矽	0.25
黑色碳化矽	0.25
白色氧化鋁	0.12
氧 化 鋁	0.1

(5) 氧化鐵和氧化鉻——切削能力較差，用於最後研磨，以得到光潔度很高的表面。

上表是把上述的人造磨料切削性能作一比較。

2-2 粒度 是指磨料顆粒的粗細。一般以磨料能通過篩子上的孔數來計算，每一吋 (25.4 公厘) 長度上的篩孔數目即為磨料的粒度。如果用 a 代表篩孔的寬度， b 代表格子厚度，如圖 2-2 所示，那麼依照上面說法，粒度應由下式確定：

$$N_c = \frac{25.4}{a + b} \quad (2-1)$$

知道粒度後，如果設格子厚度和篩孔寬度之比 $\frac{b}{a} = u$ 為已

知，可將式 2-1 變為 $a = \frac{25.4}{N_c (1 + u)}$ 而確定 a 值。

例如，設砂輪的粒度等於 30， $u = 0.6$ ①，則磨料粒度最大尺寸為： $a = \frac{25.4}{30 \times 1.6} = 0.53$ 公厘。根據蘇聯 ГОСТ 3746-47

規定磨料粒度有下列各號：

10, 12, 14, 16, 20, 24, 30, 36, 46, 54, 60,

70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, 220, 240, 280.

280 號以上的磨料稱為磨粉，其表示的符號是按照直徑之公微值，有下列數種：M28 (直徑為 0.028 公厘，相當於 400 號粒

① 磨料粒度偏差範圍，可參考 OCT 2619。

度), M20, M14, M10, M7. 選擇粒度粗細應該根據操作方法和

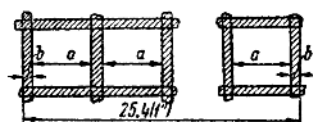


圖 2-2 確定粒度大小的篩孔

加工精度。粗磨、半精磨可用較粗的或中等粗細的粒度；細粒度適宜於精磨。磨削的材料也影響着粒度的選擇。

2-3 黏結劑 黏結劑除了把磨料黏成各種砂輪形狀外，還要使每一顆粒能有效地割削工件。顆粒變鈍後，黏結材料分裂，使鈍的顆粒剝離輪面，露出新而銳利的刃口。其主要的用途使砂輪起割削動作；其作用和裝刀用的刀架一樣。常用的黏結劑有下列數種：

(一)黏土黏結劑(K)——這是用得最多的一種，約有 70% 的砂輪是用這種黏結劑製成的，它的優點是硬度均勻、細孔多，並且不因受水、酸類、油類和溫度的影響而變質，生產效率高。

(二)矽酸鈉黏結劑(C)——這種黏結劑的工作性能和上面一種很相似，但硬度較低，並且較脆，適宜乾磨。

(三)蟲膠
(四)樹脂
(五)橡皮

這三種黏結劑韌性較大，可製造很薄或表面形狀很複雜的砂輪。

2-4 硬度 所謂硬度並不是指所用磨料本身硬度，而是黏結劑結合材料的強度。砂輪的硬度愈高，磨料愈不易落下；硬度

愈低，磨料愈容易落下。砂輪的硬度選擇是否恰當，對磨削工作的影響很大。砂輪的工作，實際上是砂輪表面上每一粒磨料在切削，當每一粒磨料切割一定時間後就變鈍了，即使增加切削壓力，結果是減低

表 2-1 蘇聯規定的砂輪硬度

性 質	硬度符號
軟 M	M1, M2, M3
中軟 CM	CM1, CM2
中 C	C1, C2
中硬 CT	CT1, CT2, CT3
硬 T	T1, T2
很硬 BT	BT1, BT2
特硬 QT	QT1, QT2

工件表面的光滑度，這時希望磨鈍的磨料剝離輪面，使新的鋒銳的磨料代替舊的磨料繼續工作。高硬度砂輪在磨削時，磨料雖磨鈍但還沒有落下，結果磨出的表面質量很差。如果砂輪硬度太低（即太軟），尚未用鈍的磨料已落下，砂輪迅速地磨蝕，磨出工件的尺寸就不正確。因此，選擇適當的砂輪硬度是一個非常重要的問題。表 2-1 是蘇聯規定的砂輪硬度。

2-5 組織 是代表砂輪中所含的磨料、黏結劑和細孔的比例。圖 2-3 表示三種不同組織的砂輪， α 種組織密，細孔的體積小； β 種為中等組織； ϵ 種組織疏，中間的細孔體積大。在磨軟

圖 2-3 砂輪的組織 α —稠密 β —中等 ϵ —稀疏

而韌性大的材料，應採用組織疏的砂輪，這樣可保證有足夠大的空間容納切屑；在磨脆而硬的材料，應採用組織密的砂輪，使砂輪和工件的接觸面有最多數量的磨粒，以利提高其生產率。蘇聯規定的砂輪組織分為三類：密、中、疏。又細分為十三級：

密——0, 1, 2, 3.

中——4, 5, 6.

疏——7, 8, 9, 10, 11, 12.

2-6 砂輪代表符號的排列順序 砂輪的代表符號，包括上述五種性質。其排列順序為磨料、粒度、硬度、黏結劑和組織。例如圖 2-4 的砂輪符號為：“ЭБ 60 CM2 K8”，表示①磨料——白色氧化鋁 ЭБ；②粒度——60；③硬度——CM 2，中軟；④黏結劑——黏土黏結劑 K；⑤組織——疏 № 8。

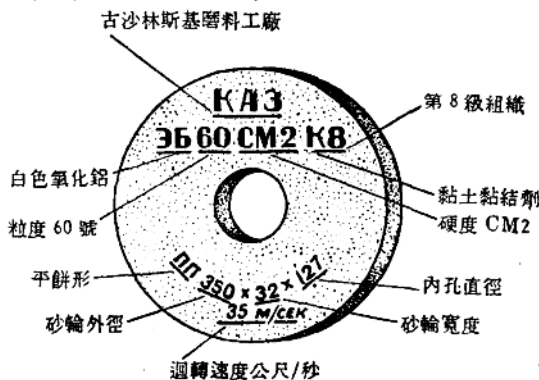


圖 2-4 砂輪符號的排列順序