

摩 擦 锯

哥 尔 巴 托 夫 著



机 械 工 业 出 版 社

親愛的讀者：

當您讀完這本書後，請盡量地指出本書內容、設計和校對上的錯誤和缺點，以及對我社有關出版工作的意見和要求，以幫助我們改進工作。來信請寄北京東交民巷二十七號本社收（將信封左上角剪開，註明郵資總付字樣，不必貼郵票），並請詳告您的通訊地址和工作職務，以便經常聯繫。

機械工業出版社

蘇聯 Н И Горбатов 著 ‘Пила трения’ (Машгиз 1950 年第一版)

* * *

NO. 1227

1957 年 5 月第一版 1957 年 5 月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{32}$ 字數 63 千字 印張 3 0,001— 4,800 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

統一書號 15033·538
定價 (10) 0.48 元

摩 擦 鋸

哥 尔 巴 托 夫 著

金 精 译

出版者的話

本書闡明有关使用切削金屬用的盤形摩擦鋸和帶狀摩擦鋸的各項問題。介紹怎樣計算動力、切削力、切削速度和走刀量，分析使用摩擦鋸的切削過程对被切金屬組織的影响，介紹怎樣計算盤形摩擦鋸和帶狀摩擦鋸的強度。

摩擦鋸又叫無齒鋸，它是利用鋸與工件間高速摩擦所發生的熱來把工件切口處的金屬熔化或軟化，而便于工件的鋸開。這是一種先進的工具，與普通的鋸相比較，有很大的優點。本書的出版，將有助於我國工廠推廣這種先進工具。

本書的讀者對象是機器制造廠的工藝師和工具設計師。

目次

原序	3
----------	---

盤形摩擦鋸

第一章 切削的理論基礎	7
第二章 盤形刀具	47
第三章 鋸的結構及其使用	60

帶狀摩擦鋸

第一章 切削的理論基礎	78
第二章 帶狀刀具	84
第三章 鋸的結構及其使用	89
參考文獻	95

原 序

随着苏联国民经济空前规模与空前速度的发展，随着新的金属加工企业的建设与开工生产，随着农业机械，运输机械及筑路机械的发展和随着廉价的焊接结构的采用等，需要在短期内加工大量的金属，这里也包括金属的切断工序。

用摩擦锯切断金属是一种生产率最高而又最经济的切断金属方法。

用摩擦锯切断金属的要点是高速运动的薄钢盘或钢带，利用摩擦所生的热，将零件的材料熔化或软化，然后在高速下将它自切口处抛出，抛出的金属成一束赤热的火花。此时最小的金属片在空气中与氧化合，所以烧成黑皮。大一些的因已溶解，所以冷却成为小珠、小滴及小球，因而形成非常紧密而又坚强的各种钢滴体。

小球、小珠和小滴在凝固体的显微磨片上可以清晰的看出来(见图1)。它们表示切断过程中热的性质。在磨片中多数部分的圆形可以证明，当它们从基体上分离时金属是在液体状态。此种状态下表面张力的作用最显著。图中拉长的细珠形状亦可证明此问题，此种形状是代表液相金属作高速运动，它在早先抛出并且已冷却的部分和黑皮之间作高速运动。

另一个表示切断过程中热的性质的标记是鄰近切口部分的金属是非常热的。

薄鋼盤或鋼帶的工作刃可以作成光滑的，或者作成有鋸齒的，或者作成是各种形状与尺寸的滚花的。由于鋸齒与工件接触点的单位压力大，因此它可以較深地浸入熔解或变軟的金属中。所以鋸的生產率提高得非常多。

鋸齒上的刀刃用鈍了时，刀具与被切金属的接触点就增加了，發热量也增加了，因此实际上切断过程無变化。

鋼盤或鋼帶的工作刃部分，不管其上有無鋸齒都称为切削刃。



圖 1 切屑凝固体放大130倍的顯微磨片。

在用摩擦鋸切断金属的过程中，实际上是没有“切削”作用的，所以此处“切削”一詞应了解是借用其意义的。

在切削过程中盤鋸或帶鋸虽然始終与热至高温的工件接触，但是自己几乎一点也不热。这个现象可以这样解釋：由

于速度很高，盤鋸或帶鋸上切削刃的任一点与工件接触的时间都非常短，因此來不及热起來；就是热起來后，在以后的路程中此点也來得及把热傳至周圍的介質，这是因为不与工件接触的路程要比工作路程大很多倍的緣故。

被加工材料所处的条件就不同了。其上的各部金屬連續地受到鋸上切削刃各点的作用。此时由于摩擦所生的热蓄積在容積不大的金屬上，其温度差不多是驟然的增到熔点，所以液体金屬被运动的刀具自切口中抛出。

由于走刀的緣故，已熔及抛出金屬的地方换上新的硬金屬；这个过程一直延續着，直到切口中所有的金屬都被熔解及工件被切成兩塊为止。

在長期切割实截形的金屬时及热切金屬时，鋸的切削刃的温度仍然增高，所以鋸必須冷却。

摩擦鋸可分成盤形的及帶狀的。

在用摩擦鋸切割金屬时，切削速度有很大的作用；它愈大，切削过程進行地愈快，并且使刀具發热的坏影响愈小。

普通在鋸床上冷切金屬时，刀具上切削刃的綫速度取在由 50 至 120 公尺/秒之間。

根据苏联進行的試驗可知，低速盤形摩擦鋸可用圓周速度为 13~15 公尺/秒。

在此种情况下，与刀具接触的金屬不是熔化，而僅是变軟至塑性状态，然后受摩擦力的作用產生金屬的运动，并且自切口处抛出。

根据已有的文献报告，第一个高速旋轉盤的切削性質是在 1823 年被發現，可是僅在 1849 年才制成第一个直徑为 1200 公厘的鋸床。其原动机構是用反作用渦輪，其軸的轉数为

2000 轉/分。由此切削速度等于 126 公尺/秒。在这个鋸床上工作时不用任何的冷却液，切割标准路軌的鋼軌只需10秒鐘。

虽然它有顯著的成效，但是这种切料方法很快的被遺忘了一些时候。其原因是盤很难得到高的圓周速度，以及当时生產动力設備有困难。

以后摩擦鋸的發展变成可能的原因，是由于在工業中使用了电动机的个别驅動的緣故。

廣泛採用高速盤形摩擦鋸是自1905年开始。自此以后，因为摩擦鋸結構簡單，使用費用非常小及更重要的是生產率特別高的緣故，使它在各种切料方法中獲得巩固及穩定的地位。

近來帶狀摩擦鋸得到廣泛的应用。这种鋸的主要优点是可以用来按圖形切割工件。切削过程中的热性質使直接切割淬火模子及冲头的圖形成为可能。

帶鋸床除了特有的作用以外，它还可以用裝在鋸条上的銼刀片來銼工件。

盤形摩擦鋸

第一章 切削的理論基礎

切削假說及動力平衡

当光滑的和軋了花的盤形鋸工作时永远可以看見下列各种現象：

- a) 熔化的金屬自切口流出；
- б) 自切口处扔出的金屬冷却成为小滴、小球和細珠；
- в) 零件被切开的两个半塊都受热，尤其与切口直接相鄰部分受热更甚。

根据这些現象可以完全肯定摩擦鋸切削金屬的过程基本是金屬熔解的热过程。热的來源是由于盤与工件的摩擦，熔解区域是在切口处。

由圖 2a 可知，当盤上 m_D 点与被切金屬上的 m_M 点接触时，由于互相間的摩擦作用而产生热量。热的分布須根据導热定律，即与它們的導热率成正比。所以

$$\frac{Q_D}{Q_M} = \frac{\lambda_D}{\lambda_M}, \quad (1)$$

式中 Q_D ——傳入 m_D 点的热量；

Q_M ——傳入 m_M 点的热量；

λ_{∂} ——盤的導熱率；

λ_M ——被切材料的導熱率。

如果盤与被切零件的材料相同 ($\lambda_{\partial} = \lambda_M$)，則 $Q_{\partial} = Q_M$ ，即熱量均分在此二点上(見圖26)。

上述二点接触以后，被切材料的 m_M 点又与盤上另外一点 m_{∂} 發生作用(見圖26)，因此 m_M 点不断的接受新的熱量(見圖26)。并且

由于盤的速度很高，所以驟然热至熔解温度。

盤上点 m_{∂} 不与 m_M 接触后，就空轉。因为空轉路程是其全程的大部分，因此該点來得及冷却，所以保持冷却状态。在圖26中用各点的徑向粗細表出其冷却情况。

当熔解的材料从切口处除去以后，盤的走刀量能保証点 m_{∂} 与 m_M 永远接触。因此被切材料因为盤有走刀

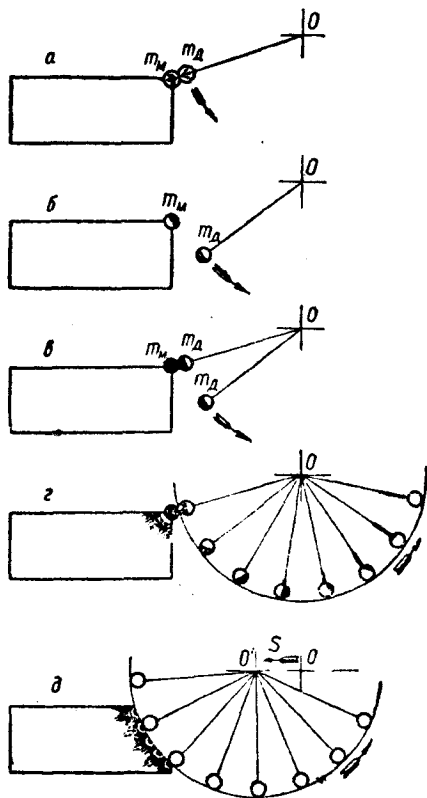


圖 2 摩擦盤的工作簡圖。

量 s (見圖2 δ)而切開。

為了促進切削效用起見須使發生的熱量大部分傳到被切材料中。即須滿足下列方程式：

$$Q_M = Q_\delta \frac{\lambda_M}{\lambda_\delta} > Q_\delta, \quad (2)$$

此式僅在下列條件下才能成立，

$$\lambda_M > \lambda_\delta. \quad (3)$$

所以製造盤的材料的導熱率比被切金屬的導熱率低。近來摩擦盤漸用以樹膠為基礎的塑性材料來製造。此種塑性材料的導熱率很低。黃銅與紫銅製造摩擦盤是不合適的。

摩擦鋸在工作過程中所消耗的總能 U 可以寫成等於在其各個要素中所消耗的能的總和。

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i, \quad (4)$$

式中 n ——工作過程中要素的個數。

公式(4)稱為鋸的能量平衡公式。

引入係數 k 將能化成為力，則可寫出

$$N = kU; N_1 = kU_1; N_2 = kU_2; \dots N_n = kU_n.$$

將這些動力數值代入公式(4)中，並對 N 來簡化，消除係數 k 後得

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n = \sum_{i=1}^n N_i. \quad (5)$$

根據公式(4)的理由，所得公式被稱為鋸的動力能量平

● 原文符號 λ_δ 為 δ 。

衡公式。

从仔細的分析盤形鋸的工作情况可知，能量或动力消耗在下列各方面：1) 熔解切口处的金屬；2) 由于被切材料的导热性能使得切出的兩半塊工件都發热；3) 盤發热；4) 自工件的基体上分离已熔金屬及將它們自切口处 扔出；5) 盤与冷却介質(空气或水)的摩擦；6) 盤的兩側在切口中的摩擦；7) 盤的振动(由此產生鋸所發出的噪音)；8) 机床及原动機構的摩擦。

为了引出所需馬达动力的准确公式，所有上述各項动力都应当考慮，并应包括在公式(5)中。但是这样得出的公式是太复雜了，它在实际上是不好用的。

为了得到簡單而又方便的計算公式，因此自上述各項中省去那些可以省略而又不影响准确度的动力。

这些項的动力为：

1. 自工件的基体上分离已熔金屬及將它們自切口处扔出所費的动力。这是由于已熔金屬与被切工件的基体中間的内聚力是非常小的緣故。

2. 盤的兩側在切口中的摩擦所費的动力。这部分能量可以省去的原因是在大多数情况下切口寬度都比盤的厚度大，因而盤在切口中可以自由的出入，与它接触的僅是盤的切削刃。

在个别条件下用使盤的端面挖凹的方法以减少其側面的摩擦。

3. 盤的振动所費的动力。

从与理論对照的試驗結果可知，这部分动力在切削过程中在所費总动力里，所占的百分比是很少的。

將剩下的各項動力用下列符號代表：

N_1 ——熔解切口處的金屬所費的動力；

N_2 ——使切出的兩半工件發熱所費的動力；

N_3 ——使盤發熱所費的動力；

N_4 ——盤與冷卻液的摩擦所費的動力；

N_5 ——機床及驅動機構的摩擦所費的動力，可以最後寫出高速盤形摩擦鋸的動力能量平衡公式：

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5。 \quad (6)$$

切削動力，有效動力及馬達動力

鋸盤所費的切削動力 $N_{切}$ （或簡稱動力）是上述鋸盤所費動力的前三項的和。

$$N_{切} = N_1 + N_2 + N_3。 \quad (7)$$

因為直接切削金屬所費的動力是將金屬在切口處熱至熔解溫度所費的動力。它不等於 $N_{切}$ 的全部動力，而僅是其前兩項的和。所以有效動力為

$$N_{效} = N_1 + N_2。 \quad (8)$$

非常明顯，馬達所需的動力是等於公式(6)中各項動力的總和。即

$$N_{馬} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5。 \quad (9)$$

為了得到公式(7)、(8)及(9)的展開式，須要分別決定式中的每一項。

現在來看切斷矩形工件的情形。

如切口處扔出的金屬變成液態所需的热量為 U_1 仟卡（見圖3），則

$$U_1 = G[c(t - t_0) + a]， \quad (10)$$

式中 G ——切口处被熔金属的重量(公斤);
 c ——被切金属的平均比热(仟卡/公斤);
 t ——被切金属的熔解温度(度);
 t_0 ——被切金属原来的温度(度);
 a ——金属的熔解潜热(仟卡/公斤)。

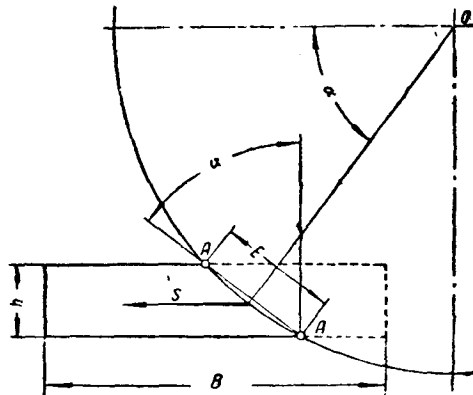


圖3 用光的摩擦盤切割矩形工件。

为了得到动力的平均值，故取切断工件所需的时间为

$$\tau = \frac{B}{s}, \quad (11)$$

式中 B ——被切材料的宽度(公厘);
 s ——走刀量的线速度(公厘/秒)。

所以
$$N_1 = \frac{427 U_1}{\tau 75} 0.735 \text{ 仟瓦}。$$

代入 U_1 和 τ 的数值，由公式(10)及(11)可得

$$N_1 = 4.2 \frac{Gs}{B} [c(t - t_0) + a] \text{ 仟瓦}。 \quad (12)$$

切口处的金属重量等于

$$G=10^{-6}bBrE \cos \alpha, \quad (13)$$

式中 b ——切口寬度(公厘);
 γ ——被切材料的比重(公斤/公寸³);
 E ——联接盤与工件接触弧的弦(AA)長(公厘);
 α ——盤与工件的接触角。

將重量数值代入公式(12)中可得

$$N_1 = 4.2 \times 10^{-6} sbE \gamma [c(t-t_0) + a] \cos \alpha \text{ 仟瓦。} \quad (14)$$

由于材料的導热性能, 使切出的兩半个工件吸收的热能 U_2 (仟卡/小时), 可由一定長度杆的導热公式[●]中求出。

$$U_2 = 2t_m th(mL) \sqrt{\alpha_t \lambda_M W F}, \quad (15)$$

式中 t_m ——当杆是处在温度等于零的环境中, 杆的一端所保持的温度。

m ——按下式决定的系数(單位为公尺⁻¹),

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_t W}{\lambda_M F}}; \quad (16)$$

L ——杆的長度(公尺);

α_t ——傳热系数(仟卡/公尺²小时°C);

λ_M ——杆的材料の導热率(仟卡/公尺²小时°C);

W ——杆的橫断面中的周長(公尺);

F ——杆的橫断面面積(公尺²)。

因为公式(15)中

$$th(mL) = \frac{sh(mL)}{ch(mL)}, \quad (17)$$

● 基尔皮且夫(М.В.Карпичев)等著“热的傳送”, М.Л.Госэнергоиздат, 1940年版。

而
$$ch(mL) = \frac{e^{mL} + e^{-mL}}{2}, \quad (18)$$

則對不長的杆來說($L \approx 0$)可得

$$ch(mL) = \frac{e^0 + e^0}{2} = 1.$$

所以,
$$th(mL) = sh(mL) \approx mL. \quad (19)$$

同理, 杆很長時, 可取

$$ch(mL) \approx \infty. \quad (20)$$

所以,
$$th(mL) \approx 1. \quad (21)$$

將自公式(19)及(21)中所得的雙曲綫正切函數值代入公式(15)中, 即可得出下面的熱能 U_2 的簡化公式:

如果杆不太長, 則

$$U_2 = 2t_m \alpha_l WL, \quad (22)$$

如果杆很長, 則

$$U_2 = 2t_m \sqrt{\alpha_l \lambda W F}. \quad (23)$$

按公式(15)、(22)或(23)計算能量 U_2 時, 可使溫度 t_m 等於被切材料的熔解溫度 t 。此時, 由於切斷工件的時間與保持熱均衡的時間相差甚少, 所以切口壁上各點的溫度 t_m 可以當作完全相同。

按上述公式計算熱損失時, 遇到的最大困難是選擇傳熱系數 α_l , 其一般的數值是幾個變數的相當複雜的函數。

實際計算時應用努謝魯特公式可以得到很好的結果, 即

$$\alpha_l = 2.8 \sqrt{\Delta t}, \quad (24)$$

式中 $\Delta t = t - t_1$ ——溫度差;

t_1 ——杆周圍的介質的溫度; 其平均值可取 $t_1 = 0$ 。

由於材料的導熱性能使工件的兩半塊發熱所費的動力為

$$N_2 = \frac{427 U_2}{3600 \times 75} 0.735 \text{ 仟瓦}, \quad (25)$$

將公式(15)中的 U_2 值代入后, 則为

$$N_2 = 0.0023 t_{\lambda} th (mL) \sqrt{\alpha_t \lambda_M W F} \text{ 仟瓦}。 \quad (26)$$

按公式(22)及(23)作簡單計算时, 則为:

如果杆不太長, 則

$$N_2 = 0.0023 t_M \alpha_t W L \text{ 仟瓦}, \quad (27)$$

如果杆很長, 則

$$N_2 = 0.0023 t_M \sqrt{\alpha_t \lambda_M W F} \text{ 仟瓦}。 \quad (28)$$

上述公式主要是用來進行准确的計算动力 N_2 。实际上应用近似的公式

$$N_2 = 0.14 N_1, \quad (29)$$

可以得出与試驗数据很相近的好結果。因此此式可用來概算动力。

动力 N_3 可以很容易的由公式(1)得出。

因为使盤与工件發热所費的动力比, 等于盤与被切材料所吸收的热量比, 所以可寫出

$$\frac{Q_{\partial}}{Q_M} = \frac{\lambda_{\partial}}{\lambda_M} = \frac{N_{\partial}}{N_M}。 \quad (30)$$

由此
$$N_{\partial} = \frac{\lambda_{\partial}}{\lambda_M} N_M \quad (31)$$

但是 $N_{\partial} = N_3$, 而 $N_{\lambda} = N_1 + N_2$,

所以
$$N_3 = \frac{\lambda_{\partial}}{\lambda_M} (N_1 + N_2)。 \quad (32)$$

將公式(29)中的动力数值 N_2 代入此式后, 則

$$N_3 = 1.14 \frac{\lambda_{\partial}}{\lambda_M} N_{10} \quad (33)$$