

齿纹动刀片结构参数对使用寿命的影响

童国华

(西北农业大学农机系)

摘 要

本文从理论上阐述收割机齿纹动刀片的切割机理。分析了齿纹刀片的磨损规律、组成刀片齿纹诸多空间角度参数的作用及其对“自磨锐”性能的影响。通过对齿纹刀片的外形、结构和参数的合理设计,使刀片在切割茎秆的磨损过程中得到自身的刃磨,获得优良的“自磨锐”和“长齿”性能,从而发挥刀片金属材料的充分利用率,达到延长刀片使用寿命的目的。

关键词 自磨刃刀片;长齿性;上刻齿动刀片;结构参数;谷物联合收割机

齿纹结构参数对刀片的使用寿命有很大影响。国外学者约在五十年代就开始对齿纹刀片的研究^[1],我国对刀片的研究是从七十年代开始的,由一机部将刀片纳入1975-1985年科技十年发展规划中100项基础件攻关项目之一,在全国范围内组织了科研、院校、工厂和国营农场等几十个单位攻关,经过四年多的努力,我国北方齿纹动刀片的使用寿命由原来的700-1000亩/米提高到2000亩/米以上,与国外瑞典(沃尔沃公司)、加拿大(麦赛、福克森公司)、苏联 Д-Э型等先进刀片对比试验结果^[6],我国名列前茅,刀片质量达到世界先进水平。

本文仅以特定的热处理等条件下,论述齿纹刀片结构参数的作用及其对使用寿命的影响。

一、刀片失效形式

(一)非磨损性损坏

刀片在切割茎秆过程中,由于遇到夹杂在护刃器间的石子、硬物或动、定刀装配间隙不合适,发生相互撞击,引起机械性损坏,造成刀片断裂、翘曲和崩齿等现象,这种机械性损坏,与外界客观条件有关,带有一定机率,不属于磨损规律的研究范畴,本文不作讨论。

(二)正常磨损性损坏

正常磨损,主要发生于齿形部位的偏磨现象,即在齿形范围内某部分金属磨薄,致

本文于1986年11月12日收到。

使强度下降，若继续使用，齿尖容易折断，使齿形逐渐变成光秃而失效。实践证明：不同齿纹结构参数，对齿形偏磨形式是不同的，主要可归纳以下四种（图 1）：

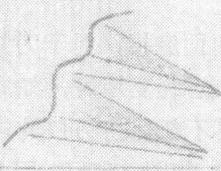
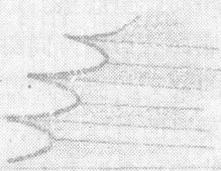
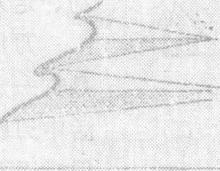
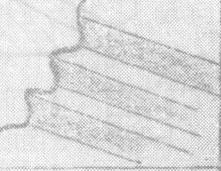
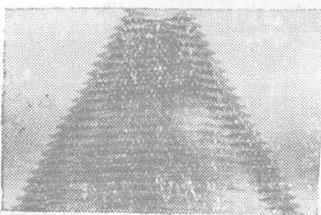
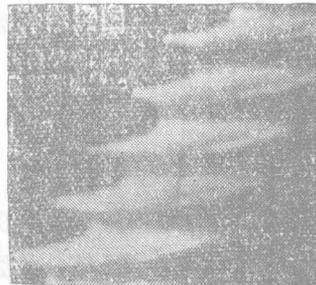
	圆弧状	针头状	鹰喙状	吊钩状
图例				
主要问题	齿尖角较大， 齿尖提前磨损。	齿尖角较小， 两刃磨损多。	两刃磨损差很大。	磨损量集中在一条刃上。

图 1 齿纹刀片四种偏磨形状

刀片无数次与茎秆磨擦而产生磨损，磨损了的刀片就要报废，这是客观存在的自然现象，但是如果针对上述存在的问题，分析造成偏磨的原因，合理地设计刀片的结构、参数，使齿形各部分磨损量配合恰当，尽可能避免和减少偏磨，使刀片虽经长期切割磨损，但齿深能向刀片内部延伸，近似地保持原始齿廓，并具有一定的自身强度和必要的锋利性，我们称为刀片的“自磨锐”。图 2（a）为一片具有较好“自磨锐”的刀片，齿形轮廓比原来新刀片向内延伸了 3 毫米以上（阴影部分为原始齿廓），刀片仍十分尖锐和锋利，具有继续切割茎秆的能力。图 2（b）为该刀片的齿形放大图。



(a)



(b)

图 2

二、“自磨锐”的基本原理

造成齿纹刀片“自磨锐”的基本原理，主要决定于两方面的因素：

（一）刀片底面的磨损

经观察试验刀片的磨损结果，发现刀片底面沿刃口方向，靠近刃口部位，有较严重的磨损，远离刃口部位磨损渐轻，形成不规则的斜曲面，究其原因，由下述三方面因素引起的：

1. 粗、硬从撮茎秆茬口与底面的磨擦。茎秆由动刀被推至定刀刃口处割断的，根茬有回弹趋势，因此刀片底面是受根茬给予F力状态下进行磨擦的；

2. 切割副运动时，动、定刀之间较多的砂粒和土壤与刀片底面的磨擦；

3. 机子振动、刀秆变形或装配间隙不合适，引起动、定刀间的严重磨擦。

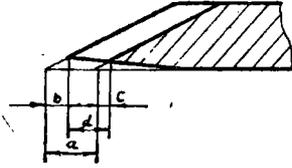


图 3

刀片底面沿刃口方向斜曲面磨损，对于刀片的磨锐是有一定的意义，当刀片刃口磨纯变厚时，如同日常生活中刃磨菜刀的道理一样，可不断保持刃口的锋利性。但对于刀片的长齿性是不利的，如图 3 所示。因 $b > c$ ，则新齿深 $d < a$ （原齿深）。这种情况对于不等深齿纹刀片更是如此。

(二) 刀片齿槽的磨损

当切割副夹住茎秆后，茎秆开始受压变形，后齿尖刺入茎秆，将茎秆分隔成若干单元束（图 4），单元束各自沿着所在齿槽上的刃口滑切，最后集中在齿根部“K”处被剪断，刀片上面单元束茬口顺着齿槽方向滑出，与齿槽中细砂粒的共同作用下^[2]，刀片表面磨损严重，划痕呈水平方向，直至左右齿槽贯通（如图 5 所示）。

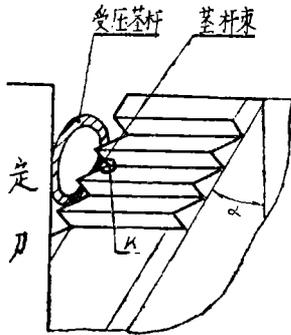


图 4

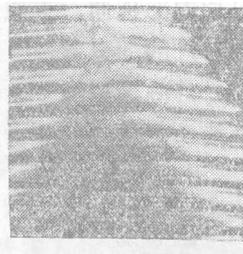


图 5

为了满足齿槽的合理磨损，首先保证茎秆顺着齿槽方向滑出，这是产生良好“自磨锐”的前提，然后要求齿形各部分的磨损量配合恰当，防止偏磨现象的产生，则必须探讨齿纹结构及其参数。

三、结构及参数设计

(一) 两种齿纹结构比较

根据齿槽深度相等与否，齿纹刀片有等深齿纹，不等深齿纹和半等深齿纹。半等深齿纹是前两种齿纹结构的一种派生形式，性能介于等深与不等深之间，不单列讨论。

1. 强度分析：不等深齿纹刀片，齿的水平截面，自底面的三角形过渡到梯形，且逐渐粗壮；等深齿纹的齿，不同位置的水平截面，都是全等三角形。显然，在其它参数相同的条件下，不等深齿纹的齿所具有的梯形截面比等深齿纹的三角形截面强度高。

2. “自磨锐”分析：①对于等深齿纹刀片，除了底面磨损外，加之齿槽面的磨损，齿形轮廓只能逐渐被磨得瘦小；不等深齿纹刀片底面的磨损，如同离底面的截面，

远离底面的截面，齿尖愈宽大，加之齿槽面的同时磨损，齿形有可能保持原始齿廓的形状。②齿槽面磨损量的差异：为了说明问题，我们可以从刀片齿尖刚刺入茎秆的瞬间，将茎秆表面近似展开进行分析，如图6所示。

从图中可看出，齿为三角形的等深齿纹，其刃面实际上已不复存在，

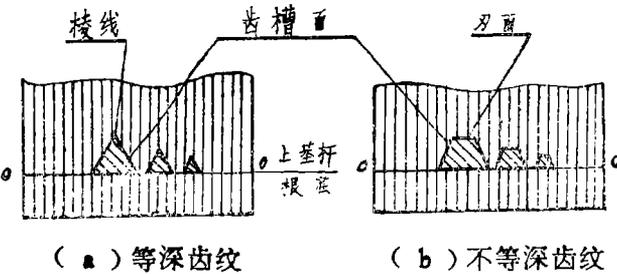


图 6

而是由一系列棱线所代替，所以上茎秆的全部茬口与齿槽面磨擦，对不等深齿纹刀片，齿槽面逐渐变窄小，而刃面反而由小逐渐变大，所以茎秆的部分茬口与齿槽面磨擦，另一部分茬口与刃面磨擦，则必然造成不等深齿纹齿槽的磨损小于等深齿纹的结果。

3. 对“长齿性”的影响：除前面已经阐述的刀片底面斜曲面磨损，对不同齿纹结构的“长齿性”有影响外，“长齿性”还和 θ 角有关。不等深齿纹沟底棱线所决定的平面对底面的夹角 θ 大于刃面角 i ，齿根部位所占有金属体积比齿尖部位多，造成齿根磨损速率缓慢，故“长齿性”较差；等深齿纹 $\theta = i$ 其齿根磨损与齿尖的磨损速率能得到较好的匹配。

根据上述两种齿纹结构的比较，等深齿纹具有齿槽面磨损量大和“长齿性”较好的特点，“自磨锐”性能比不等深齿纹结构刀片好，但齿廓易磨得窄瘦，因此将齿形角设计得稍大，以缓慢齿尖状偏磨现象的产生；不等深齿纹虽“自磨锐”性能差些，但齿尖不易磨成针状，强度较高，适宜于切割产量较高的稠密、粗硬茎秆或碎石、瓦砾较多的田块。

(二) 关于刀片的外形尺寸

刀片已是国际上的通用件，要求互换性，所以刀片的总高和总宽不是能轻易改变的，在此前提下，切割角(α)应怎样设计？目前国内刀片与国外刀片相差较大，我国多数刀片厂承袭了光刃刀片的 α 角，一般为 30° 左右，国外某些刀片一般在 35° 左右。有人从理论上推导，以夹住茎秆为条件，当茎秆直径为4 mm，齿距为2 mm时，切割角可增大到 42° 。从滑切原理上分析，增大切割角可减少切割阻力，对刀片的耐磨性是有意义的，可是在一定的刀片宽度和过桥的条件下，增大切割角(α)相应地就要缩短刃边长，这对充分利用材料是不经济的。如 α 角对切割阻力有较大影响，则可使定刀刃口制成一定斜度给予补偿，所以目前应维持国内刀片厂所采用的角度。

(三) 齿纹参数的设计

齿纹参数很多，主要有：①刃面角(i)；②齿深(a)；③齿距(t)；④齿形角($\beta_1 + \beta_2$)；⑤齿纹斜度(δ)；⑥齿沟角(θ)等六种(图7)。对“自磨锐”性能影响较大的，则是后面三个参数(其中齿沟角(θ)已在齿纹结构中论述)。

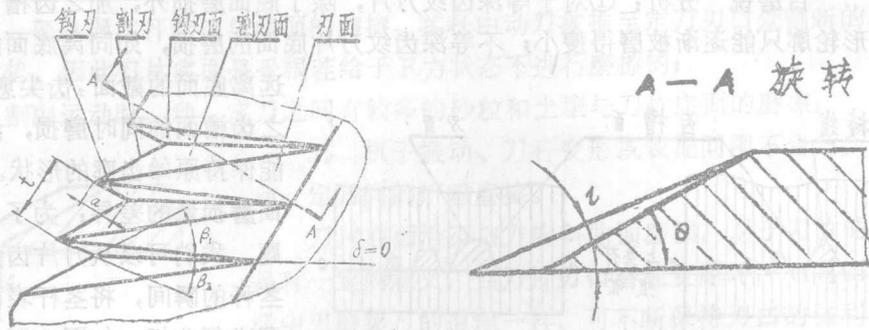


图 7

1. 齿形角 ($\beta_1 + \beta_2$)：齿形角是反映齿尖强度的重要参数之一，它与“自磨锐”性能也有一定关系，若齿尖角设计得过大，齿的强度高，齿尖刺入茎秆的阻力也随之增大，结果齿尖提前磨损，形成圆弧状偏磨〔图8(a)〕；若齿尖角设计得过小，齿尖刺入茎秆的阻力也较小，结果齿槽的磨损速率大于齿尖的磨损速率（对等深齿纹而言），形成针尖状偏磨〔图8(b)〕。

两种不同齿纹结构的齿尖角设计参数应该是不同的。不等深齿纹的齿槽磨损量较小，离低面的截面又是梯形，这就为不形成针尖状偏磨创造了条件，其次齿尖本身强度亦大，所以不等深齿纹齿形角的设计原则，应不大于等深齿纹的齿形角。

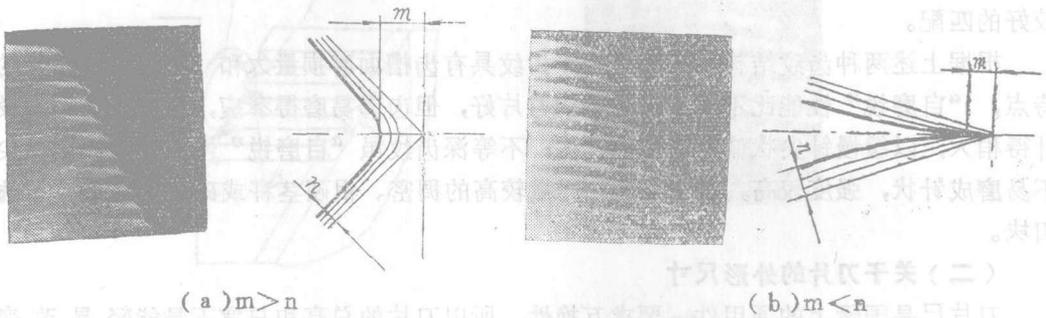


图 8

2. 割刃角 (β_1) 和钩刃角 (β_2) 的配比：割刃和钩刃对刀片基面的夹角 β_1 和 β_2 的不同配比与形成另外两种偏磨——吊钩状和鹰嘴状有密切关系。

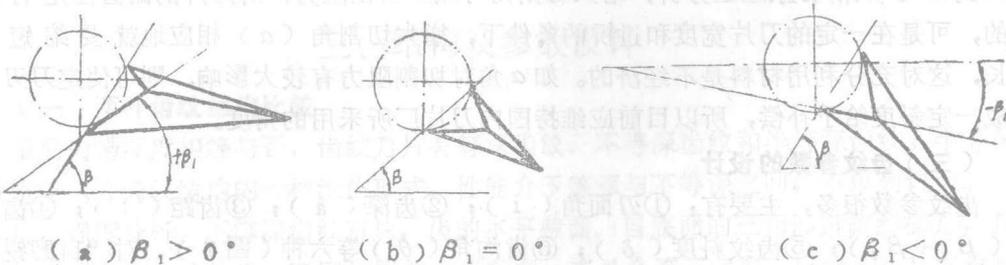


图 9

根据 β_1 的位置变化, 割刀所起的作用是不同的^[4], 当 $\beta_1 \leq 0^\circ$ 时(图 9), 割刀不参与切割, 当 $\beta_1 > 0^\circ$ 时, 割刀才参与切割。 β_1 值对于齿隙中的单元茎秆束的滑切趋势是随着 β_1 的减小而增强, 所以较小的 β_1 , 可造成根部切割, 对“长齿性”是有利的。

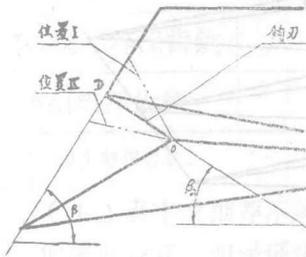


图 10

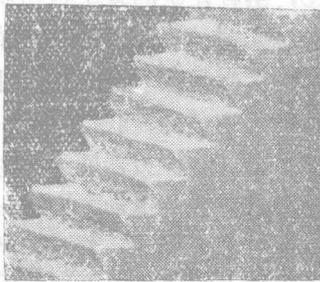
钩刀角 β_2 的位置对偏磨形式有较大影响。如从齿根 O 向刃口线作垂线 OD, 以 OD 为基准, 钩刀可以分布在 OD 两侧(图 10)。位置 I 的钩刀主要起切割作用, 位置 II 的钩刀切割作用减小, 而钩挡单元束茎秆滑脱作用增大。

现以两片国外典型偏磨刀片说明之, 其有关参数见表 1 所列。

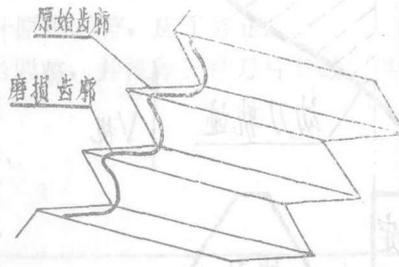
表 1

刀片型号	齿纹结构	β_1	β_2	a (理论)	δ	偏磨形式
苏联 II-Θ	等深	4°57'	55°59'	1.29	10°58'	吊钩状
加拿大 MF-510	不等深	25°10'	22°	1.13	8°40'	鹰嘴状

①苏联 II-Θ 型刀片, 如图 11 所示。钩刀处在位置 I, 钩刀角 β_2 很大, 割刀角较小, 结果造成阻力较大的反向切割, 磨损量集中在钩刃上, 而形成“吊钩状”偏磨。



(a)



(b)

图 11

②加拿大 MF-510 刀片是不等深齿纹结构(图 12), 齿槽方向的“长齿性”较差, 所以齿根部位的磨损向上、下钩割刃方向扩大, 钩刀处在位置 II, 钩刀面也较小, 磨损严重, 导致鹰嘴状偏磨。

3. 齿纹斜度 (δ) 的确定: 齿纹斜度是齿纹刀片设计的重要参数, 它除了对齿形强度有影响外, 还与“自磨锐”有关。从理论上分析, 齿纹斜度应处在牵引机的前进速度 ($V_{机}$) 与割刀往复的水平速度 ($V_{刀}$) 的合成方向, 为正 δ 值(图 13), 如苏联刀片专家鲍索伊也认为: “……这可能是由于茎秆的切割方向接近 10° ……”^[1]。但实际上茎秆茬口在刀片表面上的划痕是水平的, 与上述分析不一致。

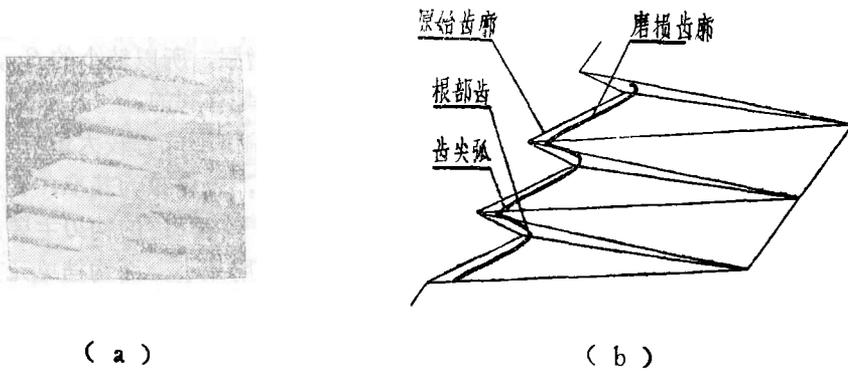


图 12

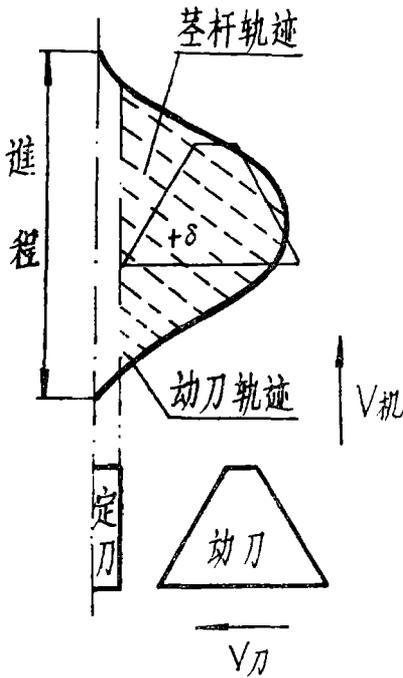


图 13

从“切割茎秆过程”^[5]高速摄影慢动作镜头观察，双支承切割器割断茎秆过程为：
 ①动刀片将进入刀穴中的茎秆推至定刀刃口；
 ②茎秆被夹住，并受压变形；
 ③齿尖刺入茎秆并割断，上茎秆仍紧贴在护刃器舌边缘，茬口与刀片表面磨擦；
 ④动刀回程，茎秆才脱离护刃器边缘。

过程①，茎秆在空间处于自由状态，与齿纹斜度设计无关，不能作为设计依据；设计齿纹斜度主要根据②和③过程，即茎秆受到外界夹住的约束条件，获得与牵引机相同的前进速度，茎秆与护刃器间无相对运动，而茎秆茬口相对刀片的运动方向是一致的——齿纹斜度（ δ ）为零，符合刀片表面划痕呈水平方向的实际情况。

四、 结论与讨论

1. 三种不同结构的齿纹动刀片，应视切割条件的差异而分别选用。
2. 切割角（ α ）应维持国内多数刀片厂所采用的角度。

3. 齿纹斜度为零值时，对刀片的“长齿性”最为有利。
4. 从防止偏磨观点出发， β_1 与 β_2 的配比应相等，且按齿纹斜度方向对称分布。

根据上述设计原则，笔者认为《陕西农机》78年2期《齿纹结构参数对动刀片自磨锐性能的作用》一文推荐的两种刀片参数（表2）有值得商榷的地方。

表 2

齿纹结构	i	δ	β_1	β_2
*C型不等深齿纹	23°	$+5^\circ$	20°	25°
A型等深齿纹	23°	0°	24°	24°

* 为半等深齿纹。

(1) 表中没推荐不等深齿纹结构的刀片。不等深齿纹刀片虽“自磨锐”性能差此,但强度较好,如保证齿深(a)的同时,减小 θ 角,改善其“长齿性”这种刀片可用于切割条件较差的地区,不应轻易否定;

(2) 表中未列出决定外形的切割角(α)参数是不合适的。刀片的 α 角对齿纹参数有较大影响,齿深(a)和钩刃所在位置是随 α 的变化而变化;

(3) 表中两种不同齿纹结构刀片取相同的刃面角参数是不合理的。应使不等深齿纹刀片的 i 小于等深齿纹刀片,因不等深齿纹的沟底角(θ)比刃面角(i)要大得多;

(4) 从有利于“自磨锐”考虑,两种刀片齿纹的 δ 角都应取零值较合理,如为增加齿的强度,应使齿强度较低的等深齿纹刀片取正值,而不是将半等深齿纹刀片取 $\delta = +5^\circ$;

(5) 从刺入理论分析, β_1 与 β_2 的配比应相等,且按水平的齿纹斜度方向对称分布,表中A型等深齿纹 $\delta = 0^\circ$, $\beta_1 = \beta_2 = 24^\circ$,符合上述设计原则,但C型不等深齿纹 $\delta = +5^\circ$, $\beta_1 = 20^\circ$, $\beta_2 = 25^\circ$ 与上述设计原则不符,应予修正。

综合上述分析,将表2有关参数作适当调整,并推荐三种刀片参数,供设计新刀片时参考:

表 3

序号	齿纹结构	i	θ	a	β_1	β_2	δ	α
1	半等深	22°	26°	1.7	23°	23°	0。	30°
2	等深	24°	24°	1.5	25°	25°		
3	不等深	21°	$29^\circ 40' 19''$	1.7	22°	22°		

参 考 文 献

- [1] 一机部机械院农机所五室工艺组: 国外收割机切割器刀片, 《农机情报资料》, (8) 1975: 25—33。
- [2] 西德 Von Th stroppeI 著, 周德慧等译: 收割机刀片磨损的研究, 《农业机械译丛》, (2) 1963: 56—58。
- [3] 苏联、英国、西德、罗马尼亚、日本、国际标准化组织 (ISO) 的收割机动刀片标准图纸, 1971年前。
- [4] 西北农学院刀片课题组: 一九七五年齿纹动刀片试验及初步分析, 《全国收割机刀片质量攻关1975年年会论文》。
- [5] 吴守一等摄制: 《刀片切割茎秆》高速摄影片, 镇江农机学院, 1977年。
- [6] 中国农业机械化科学研究院: 《关于发送北方收割机刀片寿命考核试验结果的函》, 1979年。

EFFECT OF STRUCTURAL PARAMETERS OF SERRATED BLADE UPON ITS SERVICE LIFE

Tong Guohua

(*Farm Machinery Department, Northwestern Agricultural University*)

Abstract

Theoretically, this paper describes the cutting principle of serrated blade of harvester, and analyses the wearing laws of serrated blade, the function of several space angle parameters forming the serrated sections of the blade and its effect upon self-sharpening property. Rational design of the outline shape, structure and parameters of serrated blade can make the blade itself sharpen in the wearing process of cutting stalks so as to obtain "self-sharpening" and "growing tooth" properties. In this way, the metal materials used for making the blade can be fully used, and also, the service life of the blade may be prolonged.

Key Words self-sharpening blade; growing tooth property; topserrated blade; structural parameters; grain combine