

講 義

冷 間 加 工 (I)

せ ん 断 加 工

春 日 保 男*

Cold Working (I)
Shearing

Yasuo Kasuga

は し が き

ここでは冷間加工の中で主としてプレス加工について述べるが、記述は材料に立脚して加工法を論ずるというよりむしろ加工機構を解明して後材料に要求される基本性質をつかむという形式を取っている。すなわち、材料が耐えねばならぬ変形や力を知ることが優先している。したがって場合により材料必ずしも鋼材に限定されず、材質の欠陥や試験に関する資料必ずしも多くない。しかし、加工機構の本質をつかむ上の要点はできるだけ記述した。ことに、比較的新しい文献の表題を紹介しておいたから、実施に当ってはこれらを参照されることを希望する。

せ ん 断 加 工

せん断加工には閉鎖線に沿うせん断と開放線および一直線に沿うものの区別があつてこれらは加工機構上多少異なる。前者を打抜き後二者をせん断と称して区別することが多い。ドイツでは次のような実用的分類が行われているが¹⁾、厳密に加工機構に立脚したものではない。

1. 打抜き (Ausschneiden) (Blanking)
2. 切り落とし (Abschneiden) (Cutting, Chopping Off)
3. 切り割り (Einscheiden) (Slitting, Splitting)
4. 穴あけ (Lochen) (Piercing, Perforating)
5. 縁切り, トリミング (Beschneiden) (Trimming)
6. ぼり取り (Abgraten) (Deburring) (鍛造のトリミング)
7. 仕上げき, セービング (Nachschneiden) (Shaving)
8. 矢通し (Stechen) (Pricking) (小穴あけ)

図 1 はこれを説明したものである。

図 2 はせん断工具の一般形状を上刃について示す。

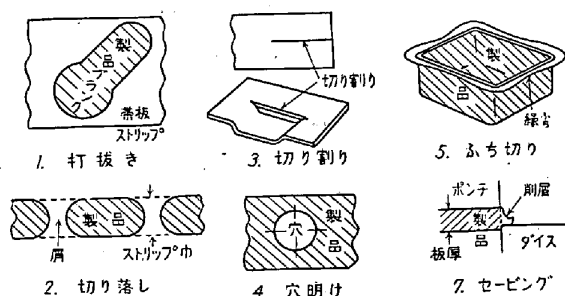


図 1 せん断加工の分類

せん断機の可動刃や鋏の刃はこの形に作られている。各角度は普通つぎの程度とする。

- ω = シャー角 = $0 \sim 10^\circ$
- α = すきま角 = $0 \sim 4^\circ$
- β = 刃物角 = $70 \sim 90^\circ$
- γ = 前傾斜角 = $0 \sim 8^\circ$

ω は上下両刃における摩擦角の和よりも小でなくてはならぬ。打抜き型では ω と γ を 0 とすることが多い。さらに、 $\alpha = 0$ とすれば $\beta = 90^\circ$ で製作が簡単となる他、刃かど (切刃) が丈夫になり、再研削によるクリヤランスの変化も起らない。

図 3 は本節で用いる用語の説明である。

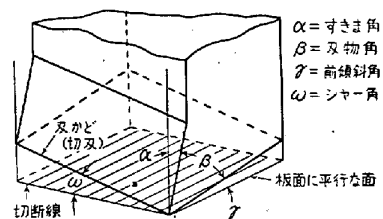


図 2 せん断工具の形(上刃を示す)

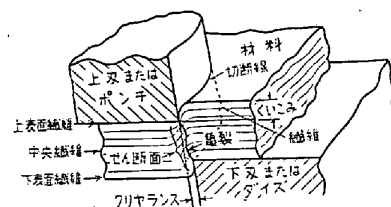


図 3 用語

1. 直線刃せん断の変形と応力

図 4 は厚さ 6 mm の St 37*21 (ドイツ規格) 鋼板

* 名古屋大学工学部, 機械工学科教授

を直線刃によつてせん断した場合、繊維の変形を格子によつて検べた一例である。実験は W. F. Timmerbeil に負う。加工に先立ち繊維は水平に横たわつていたのであるから、水平方向に対するその傾角を取つて、繊維の場所別にプロットした結果を図5に示す。最大傾角は表面繊維の工具刃かどに当る場所で生じている。ここでせん断歪量が最大になる。

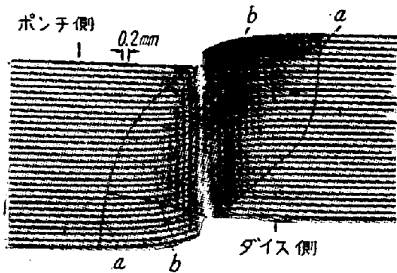


図 4 せん断における繊維の変形 (Timmerbeil)

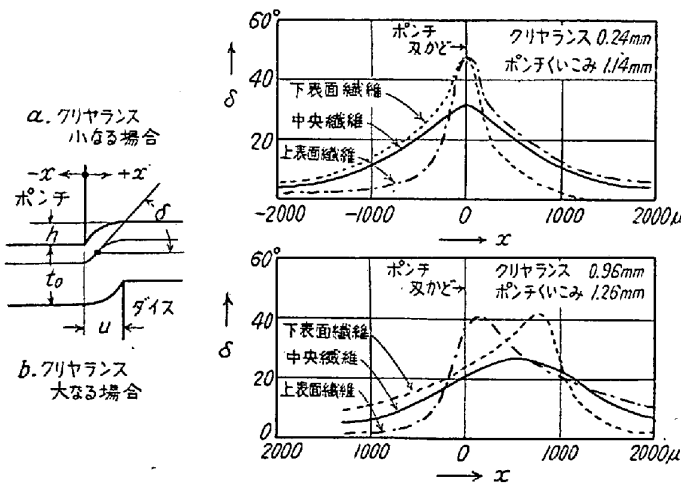


図 5 せん断における変形の分布 (Timmerbeil)

材料の変形領域は図4のa線に囲まれた部分である。さらにb線から表面側の部分では繊維が単に曲つていただけでなく伸ばされている。いわばこの領域では材料が引張応力下の曲げに似た変形を受けている。二つのb線の間で囲まれた部分では材料は全面的圧縮変形を受けていて、その一つの対角線の方に破断線が走る。

せん断加工の理論的研究では、応力分布と、破壊機構を究め尽すにはいたっていないので、現在では実験結果と経験に頼る分野が多い。切断線に直角をなす平面で材料を切つて見ると図4のようであるが、この面内で原板面の方向にx、板面に直角の方向にy軸を取る。図6参照。これらの軸に直角をなす方向(z軸)は材料の巾の方

向で、この巾寸法が板厚の10倍以上あれば、z方向に歪は生じないと考えて差支えない。このように仮定(平面歪)すると、応力解析が特に簡単になるので便利である。

図6の一般点Pの応力状態がx-y座標に関し、 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_z$ で表わされれば、垂線がx軸に対し θ をなす面に働らく垂直応力とせん断応力はそれぞれ次のごとくなる。

$$\sigma = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + \tau_z \sin 2 \theta .$$

$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_x - \sigma_y) \sin 2 \theta - \tau_z \cos 2 \theta$$

τ が極大、極小となる面の垂線の方法は

$$\tan 2 \theta_T = \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2 \tau_z} \text{ なる } \theta_T \text{ で、そのときの } \tau \text{ の}$$

値は $\tau_{\max} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_z^2}$ である。

σ が極大、極小になる面の垂線の方法は

$$\tan 2 \theta_S = \frac{2 \tau_z}{\sigma_x - \sigma_y} \text{ なる } \theta_S \text{ でその } \sigma \text{ の値は}$$

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_x + \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_z^2} \right\}$$

である。

θ_T の表わす方向と θ_S の表わす方向はたがいに 45° をなす。

P点で塑性変形が生ずるためには応力 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_z$ の間で次の条件が充たされねばならぬ。

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_z^2 = 4 k^2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 k は単純せん断における降状応力である。

(1)はまた $\tau_{\max, \min} = \pm k$ とおくことに他ならぬ。

$\tau_{\max, \min}$ が生ずる面の方向をせん断線(初期塑性変形を論ずる場合のすべり線の意味で、せん断加工の切断線の意味ではない。)としてxy座標面に表わすが加工初期の板面近傍では $\theta_T = \pm \frac{\pi}{4}$ である。しかし、表面以外の材料部分でたとえばクリアランスが適度に小さい工具の刃かどに挟まれた場所では $0 < \theta_T < \frac{\pi}{4}$ なる一族のせん断線を仮定できる。すなわち、図10の網目のように、 θ_T がほぼ一定で、主応力の一つの方向がx軸に対し

$$\varphi = \theta_T + \frac{\pi}{4}, \left(\frac{\pi}{4} < \varphi < \frac{\pi}{2} \right) \text{ なる傾をなす領域を仮定する}$$

ことができる。領域は両刃かどから工具の正面側に向つて拡がっているものとする。両刃かどを通り φ の傾をなす線によつて限られた領域ACBDは φ の方向に応力主軸の一つをもちこの方向に最大圧縮応力を受けるのである。ACBD領域の圧縮変形が、せん断における材料変形を代表するものと考えらるならば、破壊にいたる間にACBD領域がいかに変形を受けるかによつて、所要

1) 文献 (25) 1. Teil 参照.

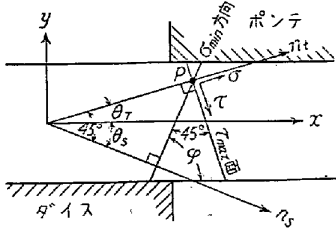


図 6 仮定される応力状態

せん断力をほぼ見当ずけるはずである。しかし ϕ があらかじめ確定するわけではないから、せん断力の一般的予測は必ずしも容易ではない。

2. 直線刃せん断荷重

図 7 は H. W. Swift が断面巾 $1\frac{1}{2}$ "、厚さ $1/2$ " の各種金属棒を開放直線刃でせん断した場合のせん断荷重の傾向を求めた結果を示す¹⁾。両刃の間にクリアランスはない。

注目されるのは工程中の最大荷重および最大荷重の現われる時期である。最大荷重は材料に初めて亀裂が入り始める時期に現われるものでなく、大抵の金属において荷重が最大になる以前にすでに部分的亀裂が発生しているのである。そしてせん断荷重が持続する限り各金属独特の亀裂の生成進展が見られる。

せん断荷重は切断される材料断面（切断線に沿い板面に垂直な断面）の単位面積当り最大せん断荷重で整理されるのが従来の技術的慣例となつている。この相対最大せん断荷重をしばしばせん断抵抗と称する。図 7 の結果から最大せん断荷重、せん断抵抗などを求めて材料の基礎的性質と比較したのが表 1 である。最大せん断荷重がおおよそ材料の引張強さに依存していることは明らかであるが、実験値が材料試験結果のどの単独値によつても適確にいい表わしえないこともまた明らかである。せん断抵抗が、すでに一部に破壊を生じた材料の現わす抵抗に対応することからいつでもこれは当然であろう。せん断

表 1 せん断に関する資料 (Chang, Swift)

材 質	ビッカース硬さ Hv	引張試験の断面収縮率 %		引張強さ kg/mm ²		最大せん断荷重 トン(疋)	せん断抵抗 kg/mm ²		比 率		ポンチくいこみ板厚に対する% 最大荷重完全に取り除く	完全に破断するとき
		最高荷重点	破壊点	称 呼 σ_b	真応力 σ_b'		称 呼 τ_b	真応力 τ_b'	τ_b/σ_b	τ_b'/σ_b'		
鉛	4.2	17	99	1.07	1.29	0.895	0.98	1.57	0.91	0.82	12	100
すゞ	6.0	23	92	1.56	1.89	1.23	1.26	1.56	0.81	0.76	19	100
アルミニウム (1)	24.8	34	90	7.72	11.7	5.64	5.83	8.83	0.76	0.76	35	100
アルミニウム (2)	28.2	39	81	7.40	12.3	6.60	6.61	9.76	0.89	0.79	30	95
銅 (1)	81.2	24	65	24.0	30.7	15.4	15.7	20.0	0.66	0.65	20	78
銅 (2)	93.3	2	63	29.5	30.2	17.7	18.3	21.9	0.62	0.72	17	80
70/30 黄銅(圧延棒)	110.0	43	78	32.6	56.7	22.0	23.0	35.3	0.71	0.62	36	53
軟鋼(1)(0.12C板)	137.0	19	68	41.8	51.2	29.5	30.4	37.8	0.73	0.74	20	62
軟鋼(2)(0.18C板)	144.0	21	65	44.6	56.4	30.9	32.0	39.6	0.72	0.70	19	25

1) 文献 26) 参照。

抵抗の理論的予知の困難さもこの辺にあるようである。

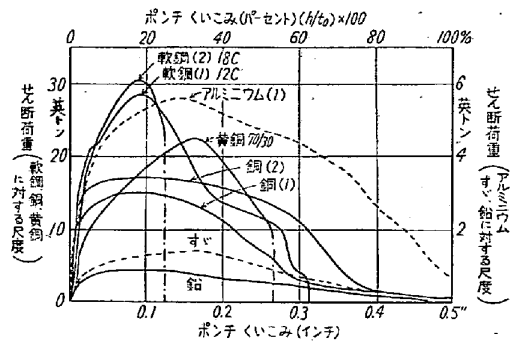


図 7 せん断荷重ポンチ行程線図(Swift)

軟鋼をクリアランス無しでせん断すると破断部に‘舌’を生ずる。‘舌’は図 8 のごとく両刃かどから発生した亀裂に囲まれた部分で、加工終了後は結局分離された両材料のいずれにも属しない第三の層となる部分である。これは亀裂の発生方向とその後の進展による材料独特のもので、せん断面の性状として好ましいものではない。

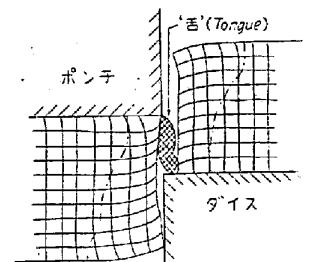
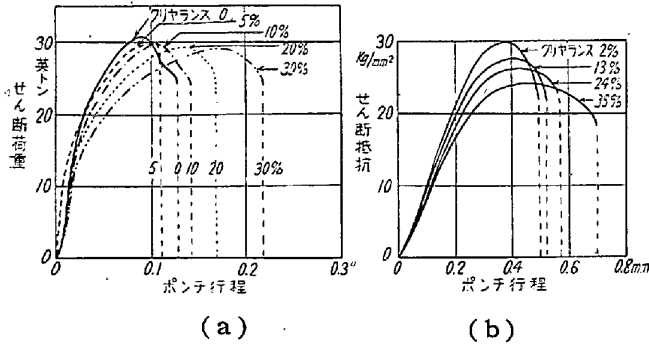


図 8 軟鋼における‘舌’の発生 (Swift) (クリアランス $u=0$)

クリアランスを与えると舌の生成傾向は減じ、最大せん断荷重およびせん断仕事量に変化してくる。クリアランスによつてそれらがいかに変化するかを図 9 に示す。実験は Swift および前田¹⁾ に負う。クリアランスが増すにつれ最大せん断荷重は減じ、加工行程が概して延び

る。両者の影響によつてせん断仕事量はあるクリヤランスで最小値を取る。このような性質は打抜きの場合にも見られる。直線刃せん断で推奨されているクリヤランスの値は後掲の表3を参照されたい。



(a) クリヤランスによるせん断荷重の変化(Swift) 断面1 1/2''(巾)×1/2''(厚)軟鋼
(b) クリヤランスによるせん断抵抗の変化(前田) 厚さ0.615mm プリキ

図9 クリヤランスの影響

せん断抵抗の慣用値を表2に示すが、これらがいかなるせん断条件からえられた値であるかが明らかでないので、せいぜいプレス機の制限容量に対し所用最大荷重を確かめるのに利用しうる程度である。

つぎに外部摩擦および材料の曲りの影響を無視してせん断抵抗を簡単に予測するための一法を示そう。ふたたび、図10のようなABCD迂り線場が代表的変形域と

表2 各種金属のせん断抵抗

材 料 の 種 類	せん断抵抗 kg/mm ²	
	軟 質	硬 質
鉛	2~3	—
錫	3~4	—
アルミニウム	7~9	13~16
デュアルミン	22	38
亜鉛	12	20
銅	18~22	28~30
黄銅	22~30	35~40
圧延青銅	32~40	40~60
洋銀	28~36	45~56
深絞り鋼板	30~35	—
鋼板	32	40
鋼板	45~50	55~60
鋼炭素含有量 0.1%	25	32
〃 〃 〃 0.2	32	40
〃 〃 〃 0.3	36	48
〃 〃 〃 0.4	45	56
〃 〃 〃 0.6	56	72
〃 〃 〃 0.8	72	90
〃 〃 〃 1.0	80	105
電気鉄板 Trafo 板 DIN46400	45	56
不銹鋼板	52	56

1) 文献 1) 参照。

して存在するものと仮定する。この部分の材料を隣接する材料と共に主応力 σ_2 で圧縮するものと考えよう。そして、その垂直成分が刃物に加わる垂直力を構成するものとするのである。

材料の単位巾を取れば、主応力面の面積は

$$AD = t_0(\cot \varphi - \nu) \sin \varphi \quad \text{となる。}$$

ただし、 $\frac{\pi}{4} < \varphi < \frac{\pi}{2}$, $\nu = \text{クリヤランス}/\text{板厚}$

$= u/t_0$ である。ここで、主応力を差当り

$$\sigma_2 = -2k \text{ と仮定すれば、純圧縮力は}$$

$$P = 2kt_0(\cot \varphi - \nu) \sin \varphi \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。隣接材料による附加せん断抵抗は、作用する面積が

$$AC = \frac{t_0}{\sin \varphi} - t_0(\cot \varphi - \nu) \cos \varphi = \frac{t_0}{\sin \varphi} (\sin^2 \varphi + \nu \sin \varphi \cos \varphi)$$

で、ここに平均せん断応力 $k/2$ が均布するものと考えや、厳密性には欠けるがAC, BD二面の影響を合算して、

$$S = \frac{kt_0}{\sin \varphi} (\sin^2 \varphi + \nu \sin \varphi \cos \varphi) \quad \dots\dots (3)$$

となる。

結局 φ の方向に $P+S$ の力が必要と考えれば、

$$R = P + S = \frac{kt_0}{\sin \varphi} \left\{ (1-2\nu) \sin^2 \varphi + (1+\nu/2) \sin 2\varphi \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Rの垂直成分がせん断荷重であるから、これを書けば

$$V = R \sin \varphi = kt_0 \left\{ (1-2\nu) \sin^2 \varphi + (1+\nu/2) \sin 2\varphi \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。これがせん断荷重(材料単位巾当り)の式である。

Rの水平成分は往側方力といわれるものである。側

方力は $H = R \cos \varphi = kt_0 \left\{ (1-2\nu) \sin^2 \varphi + (1+\nu/2) \sin 2\varphi \right\} \cot \varphi \quad \dots\dots\dots (6)$

となる。

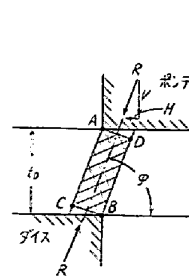


図10 変形域の仮定

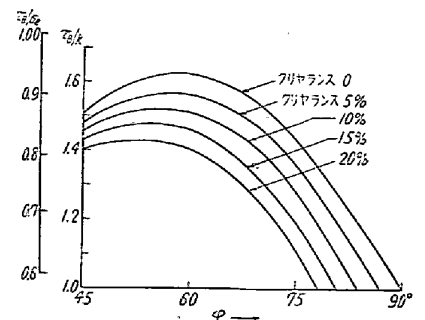


図11 せん断抵抗係数

せん断抵抗は (5) より

$$\tau_b = k \{ (1-2\nu) \sin^2 \varphi + (1-\nu/2) \sin 2\varphi \} \dots\dots (7)$$

である。

図 11 は (7) 式の括弧内の値を示す。

3. 打抜き

閉鎖線型 (ダイス) によるせん断加工はプレス作業の主体をなし、これを打抜きという。

開放直線刃の場合との大きな差異は、上下の型が幾何学的観点からポンチおよびダイスと区別され、材料におよぼす作用が異つてくることである。ポンチ側表面繊維とダイス側表面繊維とは変形条件が異り、ダイス側では比較的強い張り伸ばしを受けポンチ側では比較的圧縮変形に近づく。破断亀裂は通常ダイス側表面繊維から発生し始める。

材料を変形する力が、図 10 の R により代表され、 R が x 軸方向に φ だけ傾いていれば、その水平成分 H はポンチおよびダイスに側方力となつて作用する。開放刃の場合には H は上下の刃かどをたがいに引離す傾向、すなわちクリヤランスを拡大する傾向をもつが、閉鎖型では側方力は型全体としては自然に釣合い、型の案内精度に欠陥がなければ自体は問題にならない。しかし、材料の変形が進行した状態では、変形した材料と型の間で表われる反力ならびに型表面の摩擦力の影響で合力 R の作用線が、ポンチ側とダイス側で一致しなくなり、その結果生ずるモーメントが打抜かれる材料をわん曲させる。このような状態下における力の解析は前田および益田、神馬の文献¹⁾を参照されたい。

4. ポンチおよびダイスのクリヤランス

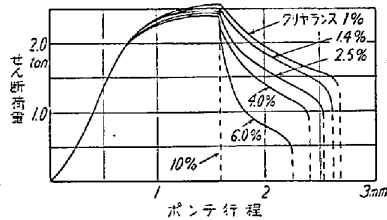
打抜型では、一旦型寸法を定めるとクリヤランスを自由に變更でき難く、実効クリヤランスは型の摩擦と共に特定の変化をなす。クリヤランスの量をいかに管理すべきかは工具製作技術者間で最も関心の高いものの一つである。最適クリヤランスの決定基準には次の諸項目があつて基準の置き方によつてクリヤランスの量は多少異つてくる。1. せん断荷重、2. せん断仕事量、3. せん断面の状態、4. 型の寿命。

a クリヤランスと荷重、仕事

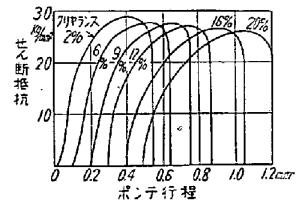
厚さ 2.8mm の St VIII 23 (独規格) 深絞り用鋼板の閉鎖型打抜きにおける荷重、ポンチ行程線図を図 12a に示す。これは Timmerbeil の実験に負う²⁾。クリヤランスが大になるにつれ、ポンチ荷重も、仕事量も共に

減じている。厚さ 0.96mm の第一種高級仕上鋼板の円板打抜きにおいて、さらにクリヤランスの割合を大ならしめた場合の線図を図 12b に示す。これは斎藤の実験に負う³⁾。開放型で見たように、この場合にはおよそ板厚の 10% 程度のクリヤランスにおいて仕事量の極小値が存する。

最小仕事量が、いかなる変形状態に対応するかは一般的に明確になつていないが、破断面の生成条件に依存していることはたしかである。破壊にいたるまでに材料が受ける圧縮変形量、圧縮変形を受ける材料容積、附加的曲げ変形およびせん断変形、これらの変形が生ずる範囲などが、総合されて最小仕事量もたらされることは想像できないことではない。



材質 St VIII 板厚 2.8mm
図 12a 打抜荷重におよぼすクリヤランスの影響
直径 10mm 穴 (Timmerbeil)



材質高級仕上鋼板第 1 種、厚さ 0.96mm (0.09% C) 50mm φ 穴
 $\sigma_b = 35.8 \text{ kg/mm}^2$
 $\sigma_s = 26.4 \text{ kg/mm}^2$
伸び率 = 39.9%
図 12b 左に同じ (斎藤)

b クリヤランスとせん断面の状態

閉鎖型打抜きにおける材料せん断面の状態を表にまとめたのが図 13 である。本図も Timmerbeil に負う⁴⁾が、材質、板厚、クリヤランス、および製品が打抜かれたものであるか、穴であるかによる分類が行われている。厚い板では打抜かれた品物側に亀裂が深く這入りやすい。理由は既述の通りダイス側刃かどから亀裂が発生し、応力の高まり易い品物側に求心的に進行するからである。この傾向は製品にとつて好ましくないので、亀裂をポンチ側刃かどから発生させるための方策を講ずることがある。すなわち、ダイス刃かどをやや鈍く、ポンチを鋭く研削するなどは一例である⁵⁾。

クリヤランスは亀裂の進展する方向に影響をもつ。クリヤランスが狭いと板面に直角に近い鋭角であるが、クリヤランスが拡大するにつれ鈍角となる。そして比較的小さな特定のクリヤランスにおいて亀裂の方向がほとんど

1) 文献 (11), (24) 参照

2) 文献 (25) 1. Teil 参照.

3) 文献 (17) 参照.

4) 文献 (25) 2. Teil 参照.

5) 文献 (33) 参照

材 質	板 厚	クリヤランス	
		少 4/10 = 2~3%	大 4/10 = 8~10%
極軟鋼材 (Al 52S 軟) のとき	3mm まで 厚さ 4mm	a	b
	4mm 以上	c	d
軟鋼材 (厚さ 4/10 まで)	3mm まで 厚さ 4mm	e	f
	4mm 以上	g	h
硬質で もろい材質 (厚さ 4/10 以上)	3mm まで 厚さ 4mm	i	k
	4mm 以上	l	m

図 13 断面の状態におよぼす諸因子の影響 (Timmerbeil)

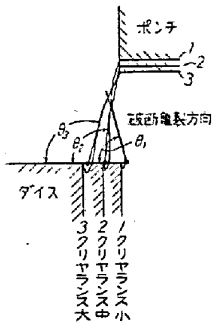
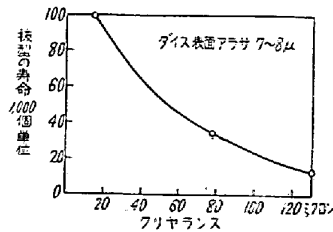


図 14

破断亀裂の方向 (誇大示)

型の寿命はいろんな尺度で測られている。最も普通の方法は製品に生ずる‘かえり’の高さが一定値に達するまでに打抜かれる製品数 (これを往々寿命数という) によるものである。いま一つは型の摩耗による打抜荷重, または打抜仕事量の増加に着目するものであるが, この方法は現場では実行し難い。

図 15 は H. Peter の実験結果¹⁾で, 厚さ 0.5 mm の電気鉄板を 30 mm φ のブランクに打抜く場合, かえり高さが 0.15 mm に達するまでの打抜数である。型のアラサは 7 μ である。



厚さ 0.5 mm 直径 30 mm 穴
電気鉄板 (3.6W/kg)

図 15 打抜型の寿命

寿命を型の摩耗によつて確認する方法は斎藤²⁾ならびに Timmerbeil³⁾が採用している。特にクリヤランスと型の摩耗

を結びつけて取扱われてはいないがクリヤランスを過大にとると摩耗の面からいつても寿命が短くなることは確実のようである。

d 材質とクリヤランス

ごく大把みにいいうるのは, 延性に富む金属程クリヤランスを小さく選ぶべきことである。Swift によると表 3 のような数値を推奨している。ドイツの AWF 規格案では延性を指定する数値としてせん断抵抗を取り, これと, 板厚によつてクリヤランスの量を規定している。図 16 に該案によるクリヤランス線図をあたえるが, これは結局 $u = Ct\sqrt{rb}$ の公式にしたがつたものである。せん断抵抗の低い材質程延性に富むと考えるのである。図ではさらにダイスにすきま角をあたえるか否かによつてクリヤランスを変更しているが, ダイスの新製当初のクリヤランスを指定する場合には, 再研削によるダイス穴の拡大を見込み, かつ刃かどの摩耗をできるだけ少くするための配慮が必要となるからである。

その他, 公表されている推奨値を表 4 に示す。

表 3 Swift によるクリヤランス推奨値 (板厚に対するパーセント)

材 質	せん断	打 抜 き
鉛およびすゞ	0 (%)	0 (%)
アルミニウム	0~5	0~5
銅	0~10	0~10
70/30 黄 銅	0~5	0~10
軟 鉄	5	5~10

表 4 A S T E 推奨のクリヤランス値 (板厚のパーセント)

I 群	2S—52S アルミニウム合金 総ゆる調質状態を通じ	4.5%
II 群	24S T, 61S T アルミ合金, 黄銅 (総ゆる調質状態) 冷間圧延鋼板 (極軟質), ステンレス鋼 (軟)	6.0%
III 群	冷間圧延鋼板 (半硬質) ステンレス鋼板 (半硬質, 全硬質)	7.5%

5. シャー角

切断面積がプレス容量に対して過大な場合, またはポンチ断面積 (直径) に比し板厚が厚い場合などにおいては工具にシャー (角 ω) を附する。(図 2 参照)。ω によつて刃かどには高低を生ずるが, その最大高低差をシャー

1) 文献 (29) 参照。
2) 文献 (14) (15) (19) 参照。
3) 文献 (25) 3. Teil 参照。

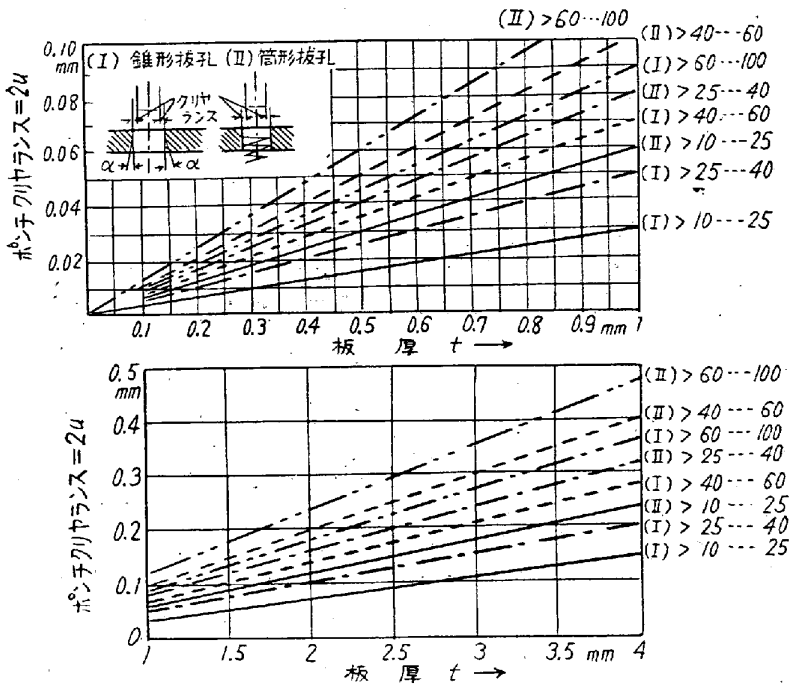


図 6 AWFによるポッチクリヤランス

せん断抵抗 kg/mm^2	I	II
$> 10 \sim 25$	$0.03 t$	$0.06 t$
$> 25 \sim 40$	$0.05 t$	$0.08 t$
$> 40 \sim 60$	$0.07 t$	$0.10 t$
$> 60 \sim 100$	$0.09 t$	$0.12 t$

I 錐形抜孔の場合
II 筒形抜孔の場合

表の数値は図のポッチクリヤランスを示す。ただし t は板厚。

と称ぶことが多い。工具にシャーが附いていれば、材料の変形に関する工具の切断線長が限定されるために最大せん断荷重を低く保つことができる。したがってプレス機の容量限界に抵触せず、またポンチの強度限界を超える危険も防ぐことができる。さらに、工程中におけるせん断荷重の変化率も減じ、プレスおよび型のこうむる衝撃も軽減される。

閉鎖型の場合を考えるに、穴あけの場合にはポンチを屋根形に研ぎ落とし、ブランクの打抜きの場合にはダイスを山形に研ぐ。これは製品をシャーによつて変形させぬため必要なことである。屋根形に研ぎ落された、いわば山形ポンチにおける打抜きでは材料は張出し成形に近い変形をこうむる。

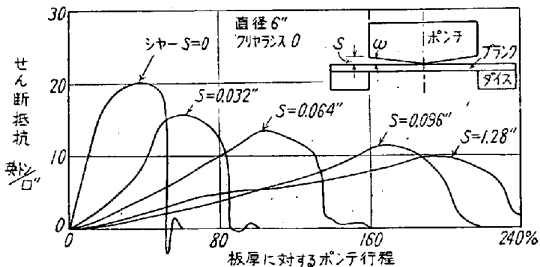
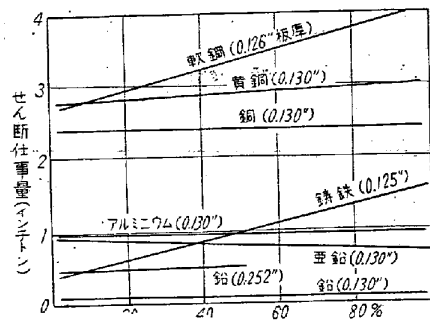


図 17 打抜きにおけるシャー角の影響 (Chang) (厚さ 0.080 インチ打抜径 6 インチ軟鋼)

Chang が厚さ 2 mm (0.080 インチ) の軟鋼板を異なるシャーを附したポンチにより打抜く場合に記録した荷重ポンチ行程線図を図 17 に示す。純せん断仕事量は原

則的にシャー角に影響されぬはずであるが、実測される仕事量は材質によつてはシャーと共に増すものもある。図 18 にはやはり Chang の実測値を示すが、軟鋼と鉄では仕事量がシャーと共に明瞭に増加している。軟鋼のように変形を許す材質では曲げおよび張出し仕事の附加がその原因の主なものであろう。鉄の場合には最大せん断荷重自体がシャーが増しても顕著に低下しないことが原因であろう。



板厚 t に対するシャー高さ s (パーセント)

図 18 打抜きにおけるシャー角の影響 (Chang) (打抜径 6 インチ, クリヤランス無し.)

Timmerbeil はやはり山形ポンチによる穴抜きを厚さ 2 mm の軟鋼板に対し行い、シャー角によるポンチ荷重の低下と仕事量増加を異なるクリヤランスに対してたしかめている。その結果を図 19 に示す。荷重と仕事の相反する傾向に対し最適シャーをいかに選ぶべきか

1) 文献 (27) 参照。

1) 文献 (251) . Teil 参照

については、ポンチ荷重の急減域を狙うべしといっている。すなわち板厚に対するシャー高さが 0.6~0.7 近傍を推奨している。このシャー高さは、シャーのない場合の破断にいたるまでの喰込み深さに相当する。

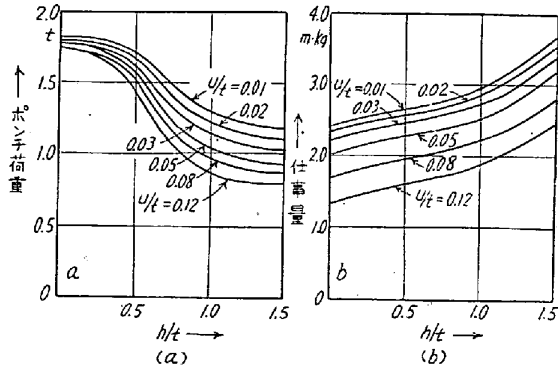


図 19 クリヤランスおよび研削高さ(シャー高さ)が穴抜き荷重および仕事におよぼす影響 (Timmerbeil)
材質 St VIII 23 板厚 2mm ポンチ直径 10 mm
 h = シャー高さ, u = クリヤランス, t = 板厚

6. すきま角

すきま角の有無により型を新製した当時のクリヤランスを変へねばならぬことはすでに述べた。すきま角を有するダイスでは当初のクリヤランスをすきま角のない場合に比し 20~40% 少く取るのである。ポンチにすきま角をあたえても差支えないが、ポンチが直接案内板により案内される場合には好ましいものではない。普通はダイスのみにすきま角をあたえているが、再研削によつて実効クリヤランスが増す傾向を生ずる。内面研削可能な場合には 8 分以下のごくわずかの角度とする。薄板打抜用ダイスでは内面鏡仕上で 1/2° を限度とし、2~3 mm の厚板打抜では 1~2° まで取る。

再研削によるクリヤランス増加よりも、ダイス刃かどの摩耗による実効クリヤランスの増加の方が顕著な場合もあるから注意を要する。

7. 前傾斜角(すくい角)

前傾斜角をあたえればせん断荷重が減じ、製品のわん曲が減ずる好ましい影響を伴うが、型工作上および刃かどの摩耗上は不利になる。

閉鎖型ダイスに凸形シャーを附すると、切断線に沿つて実効すくい角が正となつて変化することになる。山形に研ぎ落したポンチでは同様実効すくい角が負となつて切断線に沿つて変化する。負のすくい角はせん断の目的に対しては不都合なものである。

ポンチに正のすくい角をあたえると、亀裂をポンチ側

から発生させる効果があつて、製品断面を改善するのに役立つ。

すくい角もすきま角も工具の刃かど摩耗に対しては不利である。

8. 板取り法

材料の歩留の向上のため、製品の打抜きにおいて板取りが問題になる。純理論的に板取りを決定することは困難で、ある部分は試行法に頼っている。

何よりも技術的に許される抜棧の巾を心得ておらねばならぬが、表 2.5 にこれを示す。

板取りの方式による歩留りの差異の一例を図 20 および表 6 に示す。Ⅲ の方式では切落し型によるもので抜棧をなくしてある。Ⅳ, Ⅴ, Ⅵ の方式は素材板巾の変更

表 5 打抜棧の最小巾 (Oehler)

材 質	板厚 t_0 mm	長さ 10 mm 以下の棧の 最小巾 mm	棧の長さ 10~80 mm の最小棧巾 mm	棧長 80 mm 以上の最小 棧巾 mm
鋼 板 黄銅板 青銅板	0.2~0.4	1.0	1.5	2.5
	0.4~0.6	0.6	1.0	1.5
	0.6~1.0	0.8	1.5	2.0
	1.0~1.5	1.0	2.0	2.5
	1.5以上	1× t_0	1.2× t_0	1.5× t_0
銅 板 亜鉛板 アルミニ ウム板	0.2~0.5	2.0	3.0	4.0
	0.5~1.0	1.0	2.0	3.0
	1.0~1.5	1.5	2.5	3.5
	1.5 以上	1.2× t_0	1.5× t_0	2.0× t_0

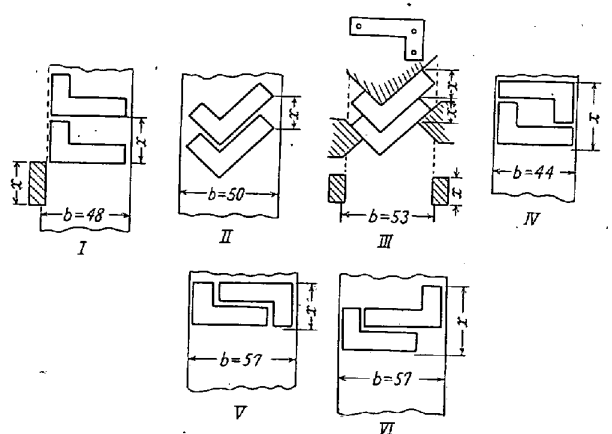


図 20 板取りの各種

表 6 板取りと歩留

図 20 の タイプ	送り x mm	ストリップ 巾 b mm	製品 1 個当 り材料面積 cm ²	歩留%
I	27	48	13.0	41
II	17	50	8.5	62
III	14	53	7.4	72
IV	40(20)	44	8.8	60
V および VI	25(12.5)	57	7.5	75

1) 文献 (2) 参照。

による歩留りの増加例である。

打抜かれるブランクの形態自体にも研究の余地がある。一定の図形の繰返しが、平面をできるだけ隙間少く覆うためには充たさるべき条件がある。図形の間にかく隙間を生じないような図形を密集図形 (Flächenschluß) という。

密集図形を構成する輪郭線に関しては Heesch の法則がある。Heesch は密集図形輪郭線をつぎの4種に分類している。そして、図形輪郭線がこの4つのタイプに属するもののみより構成されていれば密集条件を満足するのである。

- タイプ I. 中立線(N): 帯板または定尺板の外縁方向の線。
- タイプ II. 送り線(TT): プレスにおける帯板の送りに相当する距離を距てて平行する一対の線 (任意の曲線でよい。) これを常に一対になつて出現する。
- タイプ III. 廻転線(C): 一つの線素をその一端のまわりに一定角廻転したもの。廻転角には 60° , 90° , 120° , 180° の別がある。
- タイプ IV. 並進鏡像線(G.G): 任意の軸に対する一つの線素の鏡像を軸線方向に並進させたもの。これも一対になつて出現する。

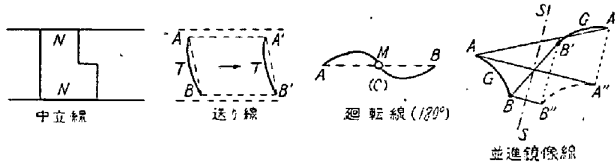


図 21 Heesch の基本図形

これらのタイプを説明したのが図 21 である。

次に Heesch の輪郭線タイプによる図形の構成法を説明する。図形タイプ TCCTC を一例に取つてみよう。まず基礎図形として平行四辺形 $ABB'A'$ を描く。A点とB点の間は任意の形の線で結びつけるがこれがTである。AA'の距離aは送りで AB線をaだけ送った位置に A'B'線を書く。これもTである。図 22 参照。さて、任意にDおよびE点を取る。D, E点の位置は平行四辺形 $ABB'A'$ の中でも外でもよいが、図の斜線部にあつてはならぬ。

AD, A'D, BE, B'E なる線分の中点を M_1, M_2, M_3, M_4 とすると、これらが廻転線 (C) の廻転中心をあたえる。ただし、 $M_1M_2 = M_3M_4 = c = a/2$ である。そこで、輪郭線 ADの間は AM_1 を任意の形としてこれを M_1 の回りに 180° 廻転させた線 M_1D とによつて

連ぐるのである。これが廻転線 C である。同様に A'D, BE, B'E も廻転線を以て形成する。4個のC線は全く別別の形でBEのごとく直線であつてもよい。この図形は密集図形となるが、N線が無いので板の側縁には損失が生ずる。

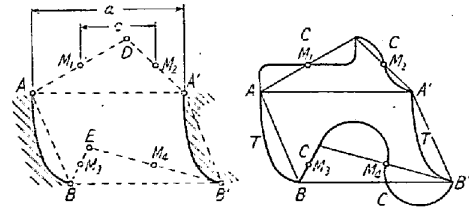


図 22 Heesch タイプ図形の構成

並進鏡像は左右の勝手の反対の品物に利用され抜棧を残して打抜くような場合にかえりの出る方向に留意しなくてはならぬ時間問題になる。

図 23 に Heesch タイプ図形の二三の例を挙げる。このような形はすべて切落し型によつて歩留 100% にせん断加工可能であるが、かえりの出る方向がそろわない不都合もある。この不都合を除くには配列形式はそのままとして抜棧の代を見込めばよい。

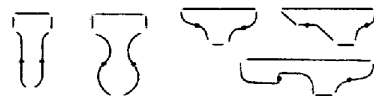


図 23 損失のない図形

9. プレスセービング

軟質材料に打抜かれた穴の内面 (せん断面) 状態を良好ならしめるにはつぎの条件を満足させる必要がある。

- a) クリアランスを板厚の 2% 程度までに小さくする。
- b) 亀裂をダイス側から発生させるため、ダイスの刃かどを鋭くする。

また、打抜かれたブランクのせん断面の質を良くするには、

- a) クリアランスを前記の程度まで小さくする。
- b) 多少かえりの発生することはやむをえぬが、ダイス側の刃かどを鈍らせポンチを鋭くして亀裂をポンチの刃かどから発生させる。

などの条件を充たさねばならぬ。

かりに、この条件が充たされても、面の寸法精度には限度があるし、条件が充たされない場合にはせん断面を再加工して仕上げなくてはならぬ。この仕上げ加工をセービングという。

タイプライタ、金銭登録機、映写機、写真機などの部

1) 文献 (40) 参照。

品の挺、爪、歯車、カムなどの精密仕上に利用される方法である。これらの精巧機器要素ではせん断面がはめあいの機能面を構成したり、送り面となる。

仕上げ加工は、普通の高級切削加工によることもできるが、非対称形のカムや複雑な形状の部品は経済的に見てプレスセービングが優れている。

プレスセービングではせん断時の亀裂部分を削り落すことを目的とするので、亀裂が余りに深く浸透している場合にはセービングの取り代が過大となる。このような場合には二回、三回に分割して加工を行う。

取り代を決めるものは亀裂の状態であるが、亀裂の状態をきめるものは材質と板厚およびクリアランスである。

クリアランスが板厚の 10% 程度の場合には亀裂は真直に両刃かどを連ねるように進むので、せん断面は恰度板厚の 10% 程度傾斜することになる。ゆえに、この分がセービングの取り代と考えればよい。そして板厚の 10% のクリアランスは総ゆる場合を通じて最大のクリアランスで、これ以上にセービングの取り代を多くする必要はない。

引張強さが 40 kg/mm² 位までの材質では「舌」が現われクリアランスより深い亀裂が生ずる。しかし、10% クリアランスの場合より絶対量は少い。図 24 はこの場合のセービング取り代を示した線図である。

せん断加工時に生ずる断面の性状については前掲の図 13 を参照されたい。延性、軟質材料では亀裂が貫通するまでの喰込み深さが深く、脆性、硬質材料では喰込み

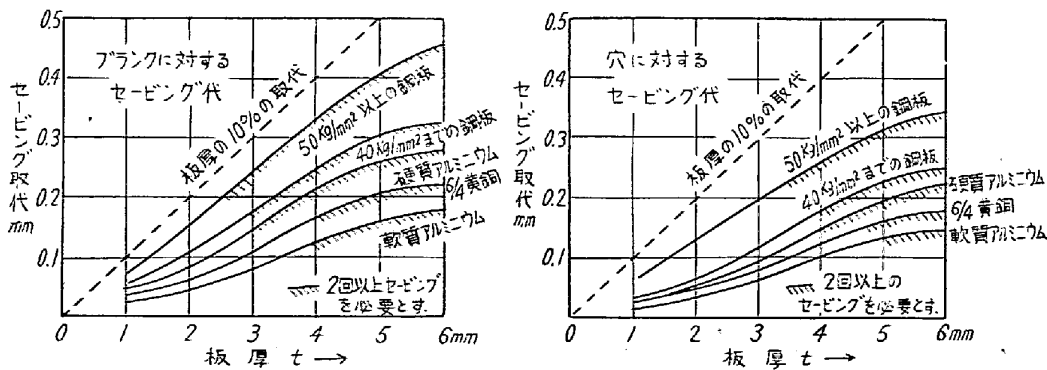
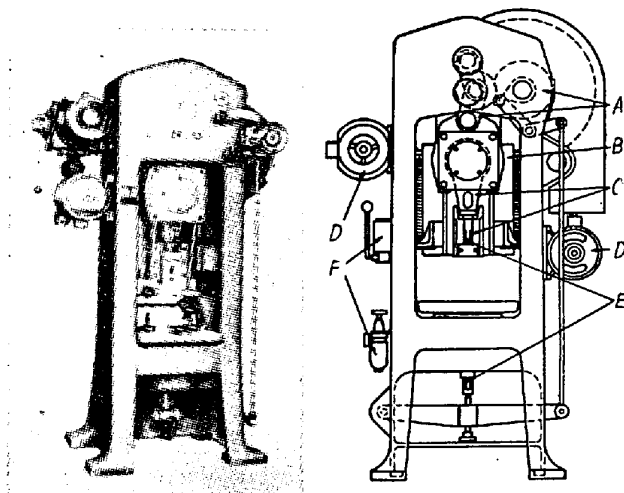


図 24 セービングの取代 (Timmerbeil)

が少くて亀裂が材料をえぐり取り進行する。亀裂は材質の他に板厚自身にも影響され、板厚が厚い程深く浸透する。このため板が厚くなるとセービングの取り代はクリアランスと別個に多くせねばならぬ。

セービング加工の実施法には二種類がある。普通法と加振法とである。普通法の場合には工程はいわば静的に行われ、ポンチとセービングダイスのクリアランスを



A: 調整ラム, ベルクランク挺装置
 B: 主ラム C: 振動子および副ラム
 D: 主および振動子用電動機
 E: はじき出し装置 F: 潤滑油ポンプ

図 25 Essa 社セービングプレス

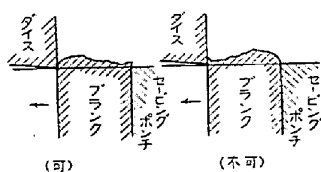


図 26 セービングにおけるブランクの装入

0.02mm程度として、ダイスの刃かどでブランクの周縁部を取り代だけ削り落とすのである。穴の場合にはポンチが切削の役を果す。

加振法においては普通法のセービング行程の他にポンチに振動を加え、切削速度を高めると共に削屑の分離を容易ならしめる。この場合、ポンチはダイスの中に入り込むことなくダイス穴より幾分大き目に作り、ブランク

を単にダイス穴に押し通す役を果す。

振動は古い設計のプレスでは毎分 12~15 行程位であるが、最近の設計では毎分 1200~1500 行程で、ポンチの実質進度 1 mm に対し 5 ないし 15 行程の振動をなす。

振動をあたえると削り屑の成生状態が良くなり、屑に巻き上ってくる。面もしたがって静的な場合より良くなるが、振巾に相当する凹凸が残ることは止むをえない。

図 25 は Essa 社のセービングプレスである。特徴はプレスラムが主、副二つの部分からなり、副ラムは主ラムの中で偏心軸によつて上下振動をあたえられるようになっていていることである。

品物をセービングダイスに装入する場合には切削抵抗の変化の様式からいつて図 26 の左の方が好ましい。

文 献

1. せん断加工全般
 - (1) 福井伸二, 前田禎三: 薄板の剪断加工の研究 (第1報)直線状剪断試験精密機械, 第16巻, 3号, 70~77ページ (昭25)
 - (2) 前田禎三: 薄板の剪断加工の研究 (第2報)直線状剪断試験, 精密機械, 第16巻, 8号, 216~220ページ (昭25)
 - (3) 前田禎三: 薄板の剪断加工の研究 (第3報) ポンチにシャ角を与えた場合 精密機械, 第16巻, 10号, 290~295ページ (昭25)
 - (4) 前田禎三: 同上 (第4報) 角形剪断試験 精密機械, 第17巻, 1号, 17~22ページ (昭26)
 - (5) 前田禎三: 衝撃せん断試験について (第1報) シャルピー式衝撃せん断試験その1, 精密機械, 第18巻, 1号, 18~21ページ (昭27)
 - (6) 前田禎三: 同上, その2, 精密機械, 第18巻, 5号, 160~163ページ (昭27)
 - (7) 前田禎三: 同上, (第2報) 精密機械, 第20巻, 2号, 52ページ (昭29)
 - (8) 前田禎三: 上下抜加工法, 機械の研究, 第10巻, 1号, 140~144ページ (昭33)
 - (9) 前田禎三: 剪断加工, 最新プレス加工, 14~41ページ, 小峰出版 (昭23)
 - (10) 前田禎三: せん断現象の解析, 塑性加工講演会前刷, 日本機械学会, 1~4ページ (昭32)
 - (11) 前田禎三: せん断時の材料の変形について, 塑性加工講演会前刷, 日本機械学会, 5~8ページ (昭32)
 - (12) 斎藤 博: 丸形打抜加工におけるブランクの形状について, 精密機械, 第17巻, 11~12号, 376, 380ページ (昭26)
 - (13) 斎藤 博: 丸形打抜加工における打抜品の直径変化について, 精密機械, 第18巻, 2号, 49~53ページ (昭27)
 - (14) 斎藤 博: せん断加工工具の寿命試験 (その1) 精密機械, 第19巻, 8号, 302~307ページ (昭28)
 - (15) 同上ならびに上原徹朗: 同上 (その2) 同上, 第20巻, 5号, 169~174ページ (昭29)
 - (16) 斎藤 博: 薄板の剪断試験, 精密機械, 第20巻, 8号, 291~296ページ (昭29)
 - (17) 斎藤 博: プレス孔明け加工の研究 (その1) 精密機械, 第21巻, 11号, 419~423ページ (昭30)
 - (18) 同 上: 同上 (その2) 同上, 第22巻, 12号, 512~516ページ (昭31)
 - (19) 同 上: 剪断用工具の摩耗と寿命, 機械の研究, 第10巻, 1号, 130~134ページ (昭33)
 - (20) 同 上: せん断加工における潤滑油の影響, 塑性加工講演会前刷, 日本機械学会, 9~11ページ (昭32)
 - (21) 同 上: 丸型せん断加工における側圧力の測定 精密機械, 第20巻, 11号, 10~15ページ (昭29)
 - (22) 津枝正介: 技型クリヤランスの研究, 機械学会論文集, 第20巻, 94号, 368~374ページ (昭29)
 - (23) 福井伸二, 久能木真人: 18-8 不銹鋼の剪断加工, 科学研究報告, 28輯3号, 139~150ページ (昭27)
 - (24) 益田森治, 神馬 敬: 打抜加工による材料の変形機械の研究, 第10巻, 1号, 135~139ページ (昭33)
 - (25) Timmerbeil, F. W. Untersuchungen des Schneidvorganges bei Blech.
 1. Teil, Der Schneidvorgang bei scharfen Werkzeugkanten, Werkst. Tech. u. Masch.-bau. 47 Jg. Heft 5, ss. 231~239 (1957)
 2. Teil, Die Schnittflächengüte von Schneiteilen, ditto, Heft 7, ss. 350~356 (1957)
 3. Teil, Der Einfluß der Schneidkantenabnutzung auf den Schneidvorgang bei Blech, ditto, 46 Jg. Heft 2, ss. 58~66 (1956)
 - (26) Chang, T. M. & Swift, H. W., Shearing of Metal Bars, Journal of Institute of Metals, Vol. 78 pp. 132~135 (1950~51)
 - (27) Chang, T. M., Shearing of Metal Blanks, ditto, Vol. 78 pp. 393~414 (1950~51)
 - (28) Ballhausen, C. u. Moes, P., Untersuchung der Seitenkraft beim Schneiden dünner Bleche, Werkst. u. Masch.-bau., 46 Jg. Heft 8, ss. 410~412 (1956)
 2. せん断型
 - (29) Peter, H. Der Schneidspalt des Schnittwerkzeuges. Werkst. u. Masch.-bau., 46 Jg. Heft 2, ss. 53~58 (1956)
 - (30) Haufe, W. Schnittstähle und ihre Wärmebehandlung, Feinwerktechnik, Jg. 59 Heft 3 ss. 93~104 (1955)
 - (31) Witthoff, J. Die Wirtschaftlichkeit von Hartmetallwerkzeugen beim Umformen und Schneiden, Werkst. u. Masch.-bau. 44 Jg. Heft 1, ss. 3~9. (1954)
 - (32) Grand, R. L. Good Carbide Die design, Metalworking Production, Vol. 102 No. pp. 866~869 (1958)
 - (33) Tilsley, R., Howard, F. Recent Investigations into Blanking and Piercing of Sheet Materials. Machinery (London) Vol. 93 No. 2383 pp. 151~158 (1958)
 3. 単行本 (国内版)
 - (34) 塑性加工研究会編, プレス便覧 (丸善) (昭33)
 - (35) 精機学会編, 精密工作便覧. 第3巻 (コロナ社) (昭28)
 - (36) 橋本 明: プレス作業と型工作法 (日刊工業) (昭33)
 4. 小穴打抜加工

- (37) 白石健二, 牧野史夫, 前田忠正: プレス最小打抜径について, 沖電気時報, 第 24 巻, 1 号, 38~46 ページ (昭32)
- (38) Strasser, F. Lochstanze für dicken Werkstoff, Werkst. u. Masch.-bau. 43 Jg. Heft 7 ss. 329~ (1953)
- (39) Strasser, F. Small Punches, Sheet Metal Industries, Vol. 32, No.336, pp. 266 (1955)
- (40) Halliday, W. M. Safety Mountings for small Piercing Punches, Sheet Metal Ind. Vol.33 No.354, pp. 713~719 (1956)
- この他文献 (17), (18) あり
5. 板取り
- (41) Schachtel, F. Wirtschaftliches Ausschneiden von Blechteilen (Springer) (1958)
6. プレスセービング
- (42) Kuhlmann, E. P. Das Schabverfahren für die Fertigbearbeitung von Stanzteilen im Klein-Maschinenbau, Werkst. u. Masch.-bau. 44 Jg. Heft 4, ss. 157~162 (1954)
- (43) Preston, T. E. W. Vibrating ram shaves teleprinter parts, Metalworking Production, Vol. 102, No.10 pp. 399~406 (1958)
- (44) Loeffler, O. Further thoughts on shaving dies, pp. 1499~1500 (1953)
- (45) Stanley, F. A. Punch and Dies, pp. 179~222, McGraw-Hill, (1950)
- この他文献 (25) 2. Teil 参照.

第3回日本アイソトープ会議論文募集

日本原子力産業会議, 日本放射性同位元素協会と共催で, 下記要領で論文を募集しているから希望者は応募されたい。詳細は下記事務局に問い合わせられたい。

記

部門別 理学, 生物学, 工学, 農学, 医学 (放射線障害を含む) 放射線化学, 安全取扱技術, 放射線関係機器の8部門

内容 各部門の基礎ならびに応用領域に属し, 既発表のものでも差支えないが, 第1回および第2回原子力シンポジウムに発表していないものであつて, なるべく完成され, 研究結果が明瞭なものであることが望ましい。

なお応募希望者は部門別, 論文題名, 所属, 住所 (別に必要あれば連絡先), 筆署名を明記して5月15日までにハガキで下記事務局へ申し込むこと。

東京都港区芝田村町1~1 日本原子力産業会議内
第3回日本アイソトープ会議事務局
Tel (59) 6121~4 (代) 7527(直通)

開催日および場所 1. 期日 昭和34年9月14日(月)~16日(水)3日間
2. 場所 東京産経会館——国際ホール・5階全部

会議の参加者 わが国のアイソトープおよび放射線についての学識経験者, 研究者, 利用者およびこれに関係を有するものと, アジア諸国ならびに海外の関係機関からの特別参加者をもつて構成する。海外の特別参加招請先は次の通り。

1. 国際原子力機関 (IAEA), 2. 米フォーラム, 3. アジア, 太平洋諸国のうちコロボ計画に参加している国々, 4. 中華民国, 大韓民国

会議の内容 各部門におけるアイソトープおよび放射線に関連する基礎ならびに応用研究の成果, 利用の経験などについての発表, 討論ならびに講演をおこなう。

1. 発表と討論 (論文による発表, 口頭発表と討論) 2. 講演, 3. パネル討論, 4. 展示会

論文の募集と選考 1. 論文は上記「論文募集」要領により一般から公募する。
2. 応募された論文は運営委員会が選考し, この会議の目的にてらして適当なものを採択する。
3. 口頭発表論文は採択論文中より会議日程にてらして運営委員会が選考し, 口頭発表を依頼する。
4. アジア側に対しても論文の提出を依頼する。