

エンジンと工作機械との物語

——安価な石油発見前後から一元的デジタル支配準備期までの生産技術史——

坂上 茂樹

Published	2021-08
Textversion	Author
Rights	© 坂上茂樹.

Placed on: Osaka City University Repository

エンジンと工作機械との物語

——安価な石油発見前後から一元的デジタル支配準備期までの生産技術史——

坂上茂樹

はじめに

生産手段としての機械は総じて社会の裏方である。それを作る工作機械などはその最たるもので、分相応と卑下すべきか、その総売上高もメーカーの規模もおおむね中庸以下で推移して来た。世界に令名を馳せるメーカーでも従業員数百名に過ぎぬ企業であるような例はザラであった。合従連衡の果てに図体の大きな工作機械メーカーが誕生したのは近年の現象である。

工作機械は製造業における裏方中の裏方であるから、非量産的工作分野においては他に代替し得るモノが存在しない、あるいはまだ十分遣い物になるがために生産技術体系の一隅でしぶとく生き残っている宿老然とした古武士を見かける一方、複合加工機の登場により 18 世紀末以来の進化史を背負った汎用工作機械の類は大方スクラップと化し、仮令、残存していてもほぼ遺産か、それに類する範疇へと零落せしめられるに至っている。

中量生産以上の工程向けの専用性の高い工作機械などはいとも短い期間の内に度々、代替を繰返され、鉄屑へと転籍せしめられて来た。畢竟、自動車工業などを観るに、実質的にはメーカーの盛衰や絶えず喧伝されて止まぬ製品じどうしゃの様変わりなどよりも工作機械メーカーや機械工作設備のそれの方がはるかに目まぐるしかったと断じて差し支え無い。いずれの生産領域においてもキーワードは一つ、「ソロバン勘定」——これだけである。

そのような定めなき、“常時崖っぷち”的な存在に過ぎぬ工作機械を気慰みめかして“マザーマシン”などと呼ぶのは日本人だけである。それは工作機械がワークを削っている様子から親子のようなイメージを膨らませての素朴な造語なのであろう。しかし、一頭地を抜く位置決め精度と躯体剛性、徹底した振動絶縁のゆえに四圍から屹立する存在であった往時のジグボーラーならまだしも、あるいはそれをも含め、工作機械などというモノは所詮、何をか工作せんがために造り出された多かれ少なかれ“間に合う”機械、経済学の用語を用いるなら“迂回生産”の具であるに過ぎぬ¹。

されば、そもその本源をなすのは製作を意図された「何か」であったと断じて過誤は無い。歯車を造るために歯切り盤が発明されたこと、大根おろしを作るために卸金おろしがねが発明されたのと同断であって、母なる卸金が大根おろしなるモノを初めて創出して見せてくれたワケでは決してない。また、“母”とは程遠い“迂回生産”の具であればこそ、それが絶えず非正規雇用的存在を余儀なくされているのも道理である。

更に、倣い加工について限定的に語るならまだしも、機械工作一般について“copying principle”などという怪し気な英語(?)を持ち出した挙句、これに“母性原理”(日本機械学会『機械工学事典』1997年、1238頁)などという大層な日本語を充てて悦んでいるのも、この国のマザコン文化ならではの現象か？

¹ ジグボーラーについては拙稿「海軍航空本部ならびに廣工廠資料に観るジグ中ぐり盤」(→IRDB)、「池貝式燃料噴射ポンプについて」(『ツールエンジニア』誌掲載後→IRDB)、参照。

誠に哀しむべきは、かかる“原理”がその名に値せぬ半面真理に過ぎず、かつ、歴史的にも残念きわまる誤りを含む点である。やがて言及されるように、プレーナ(平削盤)の発明者の一人、Richard Roberts(英)の最初の作品のベッドと案内面とにはタガネとヤスリの痕跡が残されている。製造の過程においてキサゲ仕上げが施されたであろうことも想像に難くないが、ともかく、当初、摺動面では局所的な油膜破壊による強度の金属接触が多数、繰返され、やがて真の接触面積と保持される油膜面積が増大するに及んで安定的な混合潤滑状態への到達が得られたものと考えられる。タガネとヤスリの痕跡をとどめるような案内面と平削されたワークの表面とを較べれば、少なくともその粗度やうねりにおいては成品の方が優っていたと考えるしかないのである。「工場用の測定器は、肉眼で観察できる“形状”を除き、すべての表面構造の特性を測定する」。そもそも、定義からして表面構造と形状精度は寸法精度の両構成要素であったはずではないか？²

とまれ、具体的な「何か」を造るために工作機械がひねり出されたのであれば、その技術史は旋盤、平削盤、フライス盤等々、個別類型の発展史としてよりも、造ろうと企図されたモノたち、あるいはその枢要部品とその製作を支えた個別工作機械との係わりによって具体的に織りなされる年代記として理解されるに若くはなからう。

個別類型の工作機械がいつ、だれによって発明され、どのように発展して来たかについてはL.,T.,C., Rolt, *Tools for the Job : A History of Machine Tools to 1950.*(1986 : 磯田 浩訳『工作機械の歴史』平凡社, 1989 年)をはじめとして幾つかの書が上梓されている。Robert S., Woodbury, *Studies in the History of Machine Tools.*(1972)は歯切り盤、研削盤、フライス盤、旋盤を扱っているが、その限られた守備範囲においては相当手堅い労作である。

しかし、歯切り盤は歯車か精々スプライン軸の切削に供されるのみの謂わば専用機であるから例外格とも言えようが、遺憾なことに“何をか造らんがために”——という視点はほとんどの場合、平面を削り出すため、とか、丸モノを挽くためにといった以上の意味合いでは活かされておらず、“どんな機械のいかなる部品を……”レベルの具体的記述は大方、欠落せしめられっ放しであった。

もっとも、いざ、「何か」を造るために様々な工作機械が案出され、盛衰を繰返して来た経緯を物語る技術史など、言うは易くして紡ぐのは困難である。筆者は熱機関およびその周辺の技術史をこととして来たため、そこに関連する工作技術や工作機械について眺めて来た経験こそあれ、固よりそこから直接、得られるのはスナップ写真のごとき点描の集積どまりである。

² 引用は W.,R., Moore/長岡敏郎・畑中弘志・栗原雅司・加藤登樹雄訳『超精密機械の基礎』国際工機株, 第2版, 1974(?)年, 127 頁, より。表面粗度については拙稿「海軍航空本部ならびに廣工廠資料に観る表面粗さ測定装置」(→IRDB), にて歴史的観点から論じておいた。

以下はそんな筆者の貧しい蓄積に往時の機械技術に係わる体系的な事典類や個別領域の専門書、入門書といった同時代的資料から得られた知識を加えて語り出される“「何をか」造らんがためにひねり出されて来た工作機械がいかに盛衰を遂げて来たか”についての仮設的情報集である。そこにおいてごくごく基本的かつ専用性の高い工作機械たちの一部を省略ないし冷遇せざるを得なかったのは浅学の筆者による拙速、百日仕事のゆえであり、ご容赦願うばかりである。

とは言え、冒頭から個別の原動機や工作機械に係わる具体的諸局面を展開したのでは今日の読者諸氏の脳裏に歴史的な方向感覚が湧くはずもない。そこで、I は工作機械全般の発達史の略述に充てられている。しかも、その大半は *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. N.Y., 1929, Vol.IV, pp.278~283 に収められているイェール大学シェフィールド科学学科助教授 Joseph Wickham Roe(1871~1960)著、Machine Tools なる歴史的・総括的項目の翻訳である³。

この文章は機械工学や生産技術，“Job Study”を専門とし、後に New York University 教授となった同じ著者による工作機械産業史の名著、*English and American Tool Builders* (1916, '26: ネット上で自由に閲覧可能)のダイジェスト版に当たっている。同書の価値は奥村正二『工作機械発達史』(科学主義工業社, 1941年)が肝心の“発達史”については全面的にこれに依存している事実からも窺われよう。

Roe の Machine Tools はその著者自身による抄録であるから、コンパクト化されているとは言えバランスはかなり良好、かつ内容的にも充分信頼できるため、訳出して I とさせて頂いた。冒頭の工作機械の定義に関する部分はつまらぬ議論であるから省略し、スペースの制約から、あるいは特に現代の読者にとっては技術的解説が手薄となっているところには若干の画像データや関連情報が補足されてはいるものの、それらは段落付けや記述そのもの、追加画像の出典表記などによって判別可能となっており、断りなき部分は純然たる翻訳である。

レシプロ蒸気原動機の時代と工作機械を対象とする II においては、初期の舶用機関や全盛期の蒸気機関車とそれらの部品を作った工作機械たちの顔触れが取上げられる。

内燃機関の時代と工作機械を扱う III においては、主として自動車用機関と航空発動機の部品製造に係わった工作機械たちが紹介される。ここまでは石油がほとんど知られていなかったか、非常に高価であった時代に係わる物語である。

³ 全 7 巻構成の *Machinery's Encyclopedia* は 1917, '25, '29 年に刊行されており、後二者にはそれぞれの Supplement が付されている。本文の改訂経緯については各版対照を行っていないため、従来、不明として来たが、第 1 巻の執筆者総覧に観る Roe の Assistant Professor of Mechanical Engineering, Sheffield Scientific School, Yale University なる肩書を見れば、本文から索引までは各版とも同一、Supplement のみの更新であったことが推定される。

IVは工作機械技術史を別の角度から眺め直すために、具体的には工作機械進化の基調を自動制御の面から捉えようとする試みとして挿入された。自動制御は何もNC化を契機として突如、普及した技術ではなく、近代的工作機械のそもそもの原点がそこにあった事実を確認し、過去から現在へと至るその進化を制御の面から総括される。

Vはいすゞ自動車鶴見製造所のエンジン機械加工(1955年頃)と題し、復興期を経て安価な石油との邂逅をスプリングボードとする高度成長期を迎えつつあった当時の日本を代表する自動車用ディーゼル機関工場の工作機械たちにスポットを当てるとともに、現在へと至る自動車生産技術体系の進化について工作機械の面から概観を試みる。

VIにおいては戦前~戦後から現代に亘るタービン関係の工作事象について、選択的かつ、極めて粗略にはあるが、通時的に取上げられる。

なお、本稿執筆の契機は拙稿「三菱航空発動機技術史」や「ピストン航空発動機の進化」の書籍化を提案して来た某月刊誌編集長の示唆——上記欠落の指摘——にある。草稿を提示したところ、『三菱航空発動機の技術史』出版企画を最終的に撤回、本稿書籍化の方針が提示された。その結果として出来上がったのが本稿ではあるが、諸般の事情により書籍化は困難と判明したため、リポジトリ登載へと至った。

目 次

I : 工作機械進化の道程

1. 工作機械の概念
 2. 通史
 3. 初期イギリスの中ぐり盤
 4. 旋盤と工具送り台の開発
 5. 工作機械の発展に対する Maudsley の影響
 6. プレーナの発展
 7. Nasmyth と彼の発明
 8. 工作機械発展の一要素としての Whitworth
 9. 初期のアメリカ製工作機械
 10. Joseph R. Brown とアメリカ工作機械の発展
 11. ニュー・イングランドにおけるその他の工作機械製造拠点
 12. Eli Whitney と互換性生産
 13. 北部ニュー・イングランドにおける工作機械の歴史
 14. フィラデルフィアにおける工作機械の発展
 15. 中西部における工作機械
- 結論

II : レシプロ蒸気原動機の時代と工作機械

1. 重機械・船用機器
2. 蒸気機関車
 - 1) 蒸気機関車の進化
 - 2) 蒸気機関車の製造工程
 - i) シリンダ関係の機械加工
 - ii) プレーナの使い方いろいろ
 - iii) ピストンおよびピストン弁回りの工作
 - iv) ロッド類の工作
 - v) 車輪および車軸関係の工作機械
 - vi) 台枠関係の工作
 - vii) ボイラ関係の工作

III : 内燃機関の時代と工作機械

1. Ford System から基幹的自動車工業へ
2. 自動車用など小形内燃機関の部品工作
 - 1) シリンダブロックの平面切削

- 2) 中ぐり
- 3) 内燃機関シリンダの内面仕上げ
- 4) '30年代のアメリカに観る専用機によるシリンダブロックの工作
- 5) エンジン主運動部の工作
- 6) カム軸の旋削および研削
- 7) タペットの研削仕上げ
- 8) 型彫り盤

3. 航空発動機部品の工作

- 1) 水冷(液冷)航空発動機シリンダブロックのフライス加工
- 2) 空冷星型航空発動機部品の機械加工
 - i) シリンダ関係
 - ii) 主連桿連桿・副連桿関係
 - iii) クランク軸関係
 - iv) クランク室関係
 - v) 弁・動弁機構関係
 - vi) 航空発動機部品の製造における Fellows ギヤシェーパの活躍

IV：工作機械における自動制御

1. 近代的な工作機械の本質としての自動制御
2. 高度化した倣い機構による自動制御
 - 1) 機械式倣い機構
 - 2) 油圧式倣い機構
 - 3) 電気式倣い機構
3. アナログ・プログラミングによる自動制御
4. デジタル・プログラミングによる自動制御＝数値制御
 - 1) 数値制御の始まり
 - 2) 数値制御の論理
 - 3) 数値制御システムの進化

V：戦後の日本自動車工業

1. いすゞ自動車鶴見製造所におけるエンジン機械加工(1955年頃)
2. 倣い加工による専用機の終焉
 - 1) トランスファマシンからマシニング・セルによるトランスファラインへ
 - 2) 金型加工

VI：タービン関係の工作と工作機械の主軸受

1. 動翼の工作とフライス盤
2. 重切削・高速切削を支えた工作機械の主軸受
3. Maag も大形専用機も生きている——船用減速歯車とタービン車室の工作

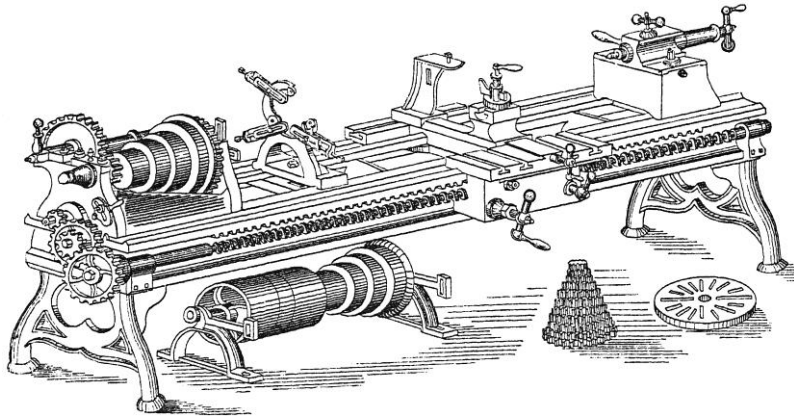
むすびにかえて

I : 工作機械進化の道程

1. 工作機械の概念

工作機械の基本形は旋盤(図 I-1-1), プレーナ(平削盤), フライス盤, ボール盤, 研削盤であり, 他のものはこれらのいずれかに分類可能であることが通例である. 旋盤の代表的変形物は手動ねじ切り盤, タレット旋盤, 自動ネジ切り盤であり, 堅型中ぐり盤は元来, 堅旋盤と見なされていた.

図 I-1-1 19世紀後半の動力旋盤(Engine Lathe)

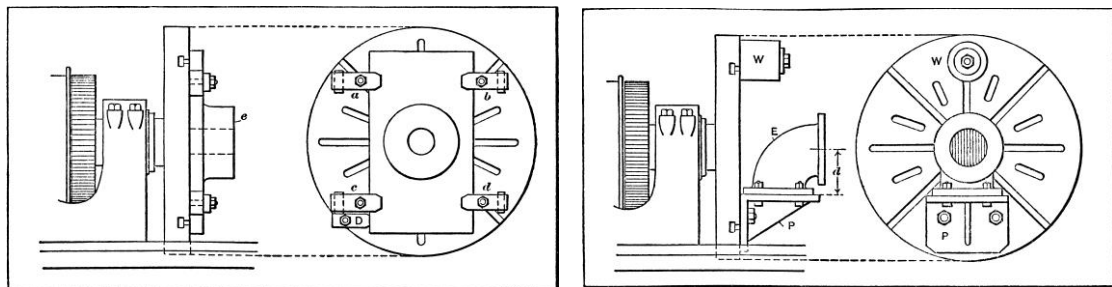


E.,H., Knight, *Knight's American Mechanical Dictionary*. N.Y., 1874(reprinted in 2005), Vol. I , p.802, Fig.1875.

ベッドの下には左から, 頭上を走るラインシャフトの傍らに設置され, そこから動力を受けるカウンタシャフト[正転・逆転プーリと段車付き], 送り速度切換え用の換え歯車, 面板.

旋盤は軸物ばかりではなく, 面板と取付具とを用いて箱物などの切削にも重用された. 図 I-1-2は鋳鉄製ブラケットを旋削, 中ぐりすべく面板にクランプしている状況および蒸気や水の配管に使用される鋳鉄製エルボをアングルプレートを通じて面板にボルトオンしている状況を示す.

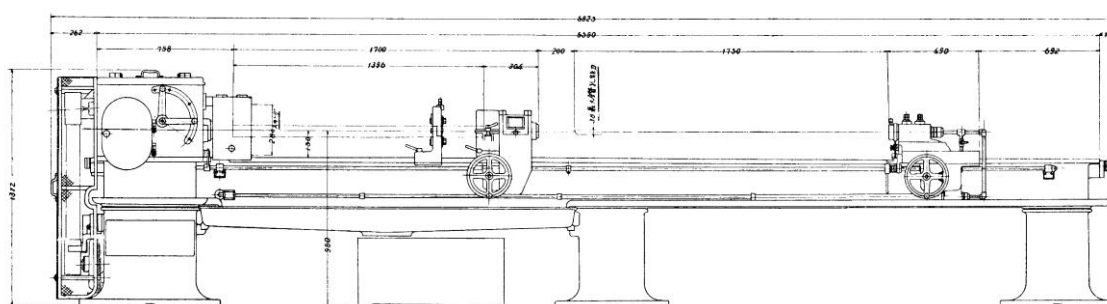
図 I-1-2 面板の活用状況



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement., N.Y., 1929, Vol.IV, p.187 Figs.23, 24.

なお、いささが蛇足めくが、深孔ボール盤(図 I-1-3)も原理的には旋盤の派生物であり、テイルストックのセンター孔に当る部分にはドリルチャックが装備されていて旋盤におけるセンタードリルの要領で長い深孔用ドリルをくわえ、主軸側ではチャッキングしたワークを回転させた。ベッド上にはワークを支える振れ止めとドリルを支える振れ止めとが装備され、穿孔とともに往復台ならぬテイルストックがヘッドストックへと向って前進し、工具に前進送りを与えた。旋盤との大きな違いは通常、2軸型として提供されていた点である⁴。

図 I-1-3 池貝鐵工所製の深孔ボール盤



三上『孔明け及中ぐり仕事』104頁，第78圖。

“スキング”は280mm，“最大鑽孔能力”38mm，と記されている。描かれたガンドリルの有効長さは1750mm。

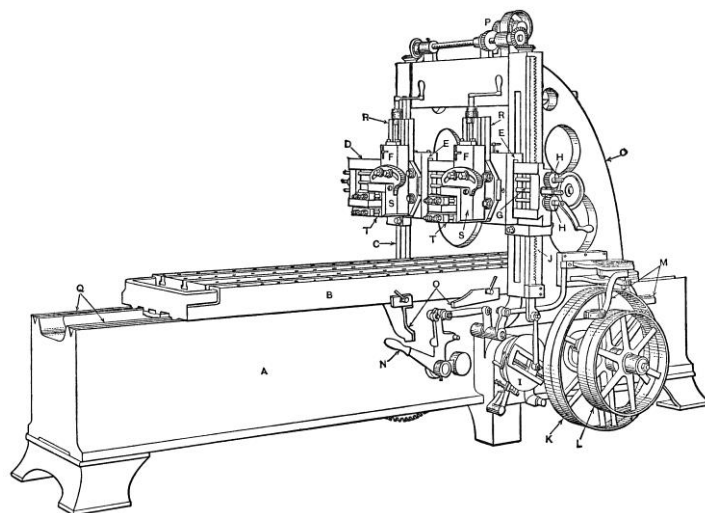
旋盤がワークを回転させて円筒面，円すい面などを連続切削するのに対してプレーナ(図 I-1-4)はテーブルB上に固定されたワークをBの長手方向に往復直線運動させ，横桁(cross-rail)D上の刃物台(saddle)Eに保持された工具をこれと直角(桁の長手方向)に少しずつ送ることによって平面を削り出す。旋盤，プレーナ何れにおいても工具はバイトであるが，後者における切削は間欠となる。シェーパー(形削盤)はミニチュアプレーナ，スロットタ(縦削り盤)は縦型シェーパーと考えられて良い。近代的なプレーナやシェーパー，スロットタといったその仲間は間欠切削を基本とするがゆえに早戻り機構を備えていた。20世紀初頭のWilliam Sellers & Co.(米)大形プレーナでは切削速度13ft(3.96m)/min.に対して戻り速度は90ft(27.43m)/min.との記録が観られる⁵。

⁴ 三上新九郎『孔明け及中ぐり仕事』共立社 實用工作法講座，第二巻，1935年，103~104頁，参照。三上は池貝鐵工所技師。

⁵ cf., Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. N.Y., 1904, p.426.なお，歯車やプリーのハブ内面にキー溝を切る専用スロットタをキー溝盤(Keyseating Machine)と呼ぶ。

プレーナ切削においてはワークとテーブルとが往復動させられるため、同じバイトを用いて同じ材料を削っても切削速度は旋盤より低くならざるを得ない。また、切削が間欠的となるため工具温度の変動を避けられず、このことから高速切削においては工具寿命の短縮を生ずる⁶。

図 I-1-4 20 世紀初頭の一般的な中形プレーナ



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.95, Fig.1.

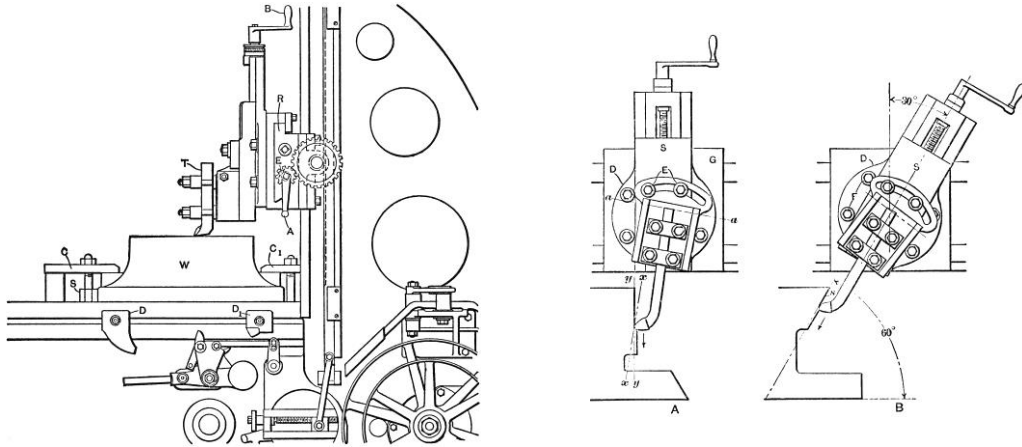
K が切削行程用ベルトプーリ，L は戻り行程用ベルトプーリである。プーリに入力された動力は平歯車列を經由してテーブル下に取り付けられたラック（ピッチ円直径が無限大の直線状の歯車）へと伝えられ，これを往復動させる。ベルト駆動式プレーナにおけるテーブルの往復動はベルトへの機械的・熱的負荷が大きく，両者を軽減させるため Al 合金製のプーリが詠えられることもあった。プーリは高速回転するため，36in.(914.4mm)×10ft(3048mm)のテーブルを持つプレーナにおいて鋳鉄製プーリが持つ最大運動エネルギーはテーブルのその実に 56 倍に達し，これを Al 合金製のそれに置き換えるだけでその比が 15 倍にまで切下げられるとの計算結果さえ明らかにされていた。更に，Al 合金製プーリにおいては蓄えられる運動エネルギーが小さいため，ベルトの張力引き下げも可能となり，冷却性の向上とあいまってベルト寿命は延長された⁷。

プレーナによるごく一般的な平面切削の状況は図 I-1-5 に示されるとおりである。

図 I-1-5 プレーナによる水平，垂直・傾斜切削の状況

⁶ cf., Erick Oberg and F.,D., Jones, *Machinery's Handbook*. 17th., ed., N.Y., 1959 pp.1498~1499.

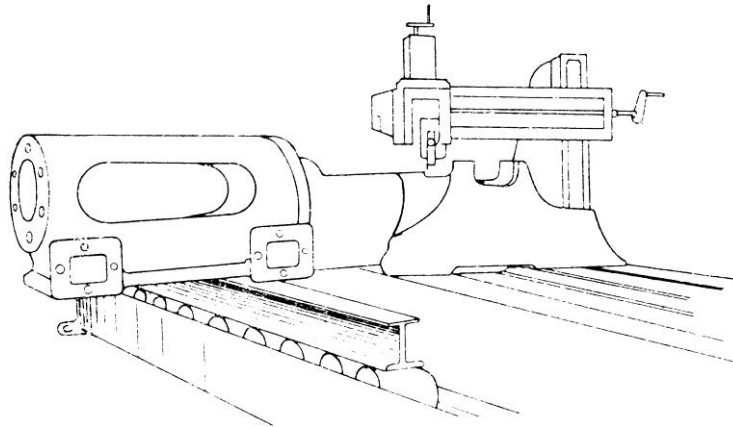
⁷ cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*, Vol.V, pp.103~104.



ditto., p.110 Fig.1, p.112 Fig.5.

大きなワークの工作が要請されればプレーナの大形化によって対応するしかない時代は永らく続いた。ヤタラに大きな機械を逃えるのは経済的に困難であったから、両コラムの間を通過させられぬ巨大ワークの平削りのために片持ち(Open-side)式プレーナが開発されるなどは序の口、それで足りぬとあらばローラ・スタンド(図 I-1-6 : ワークは圧縮機の躯体らしい)や外付けコラムをこれに添わせるなどという奇策まで講じられた(図 I-1-7 : Billeter & Klunz : ドイツ)。

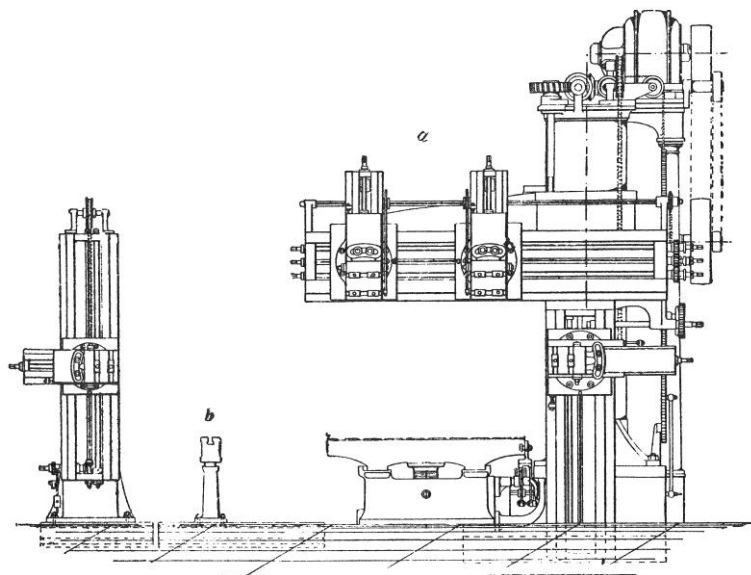
図 I-1-6 ローラ・スタンドを併設した片持ちプレーナによる大物ワークの平削



山口順忠『平削盤、形削盤及堅削盤仕事』共立社 實地工作法講座、第七卷、1935年、31頁、第67圖⁸。

図 I-1-7 ローラ・スタンドと外付けコラムを添えられた片持ち式プレーナ

⁸ 山口順忠は日立製作所技師。

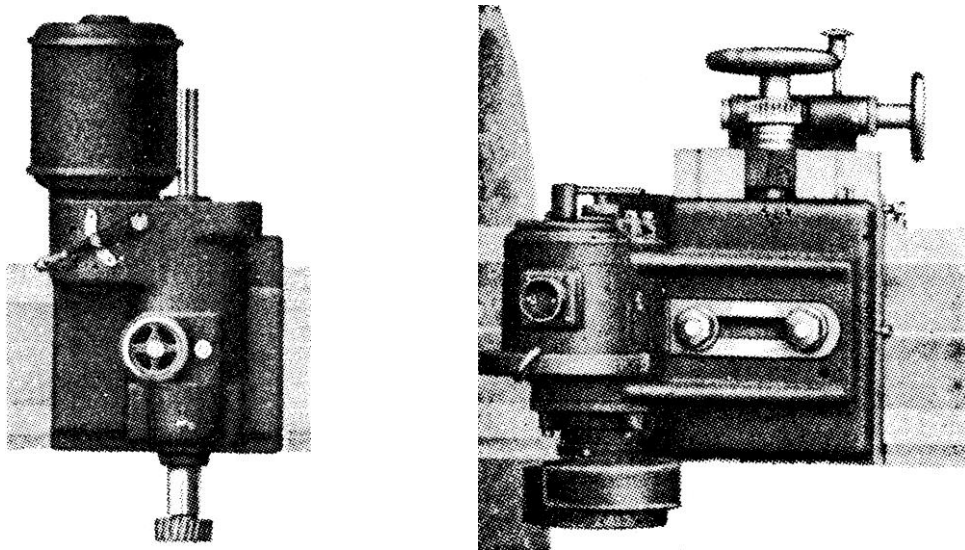


長谷川一郎編『工作機械設計資料』工業圖書，1942年，303頁，第595圖。

これらの画像が示唆しているのはプレーナの融通性であるというより、むしろその本質的な不器用さである。即ち、プレーナにおいてはその切削が一方であるがために、ワークのプロポーシオンに係わりなく、被削面の個別的配置によってワークのセッティングが一義的に決められざるを得ぬワケである。ここに正面フライスの類を用いるライヴアルとの大きな違いがあった。

なお、時代が下ればプレーナの刃物台に取換えるアタッチメントとしてミリング・ヘッドやグラインディング・ヘッドが開発された事蹟まで認められる(図 I-1-8)。当然ながら、これらを用いる場合にはテーブルの動きを遅くする減速装置が併用された。

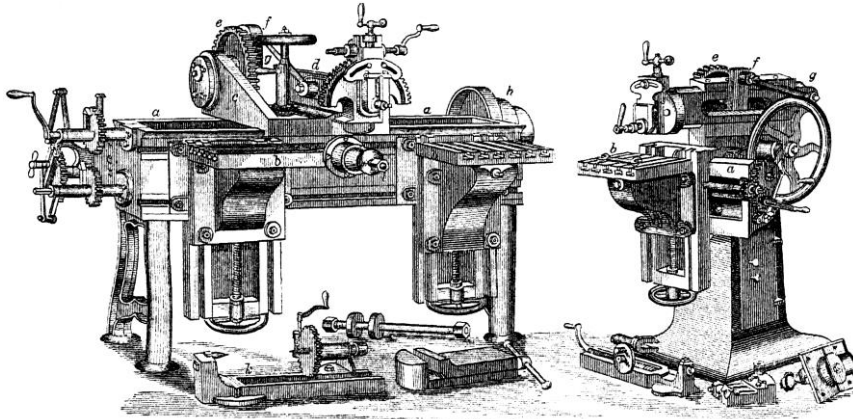
図 I-1-8 プレーナ用のミリング・ヘッドとグラインディング・ヘッド



山口『平削盤，形削盤及堅削盤仕事』6頁，第12圖，第13圖。

ミニプレーナであるシェーパーについて観れば，図 I-1-9 左の大形シェーパーはベッド長さ 6ft(1828.8mm)，ストローク 14 1/2 in.(368.3mm)で最長 5ft(1524mm)の面を加工し得た他，孔の明いたワークをアーバーに固定してその外周を削ることも可能であった．同右はより一般的な小形シェーパーで，9 1/2 in.(228.6mm)のストロークを有し，最長 16in.(406.4mm)の平面を削り出せた．

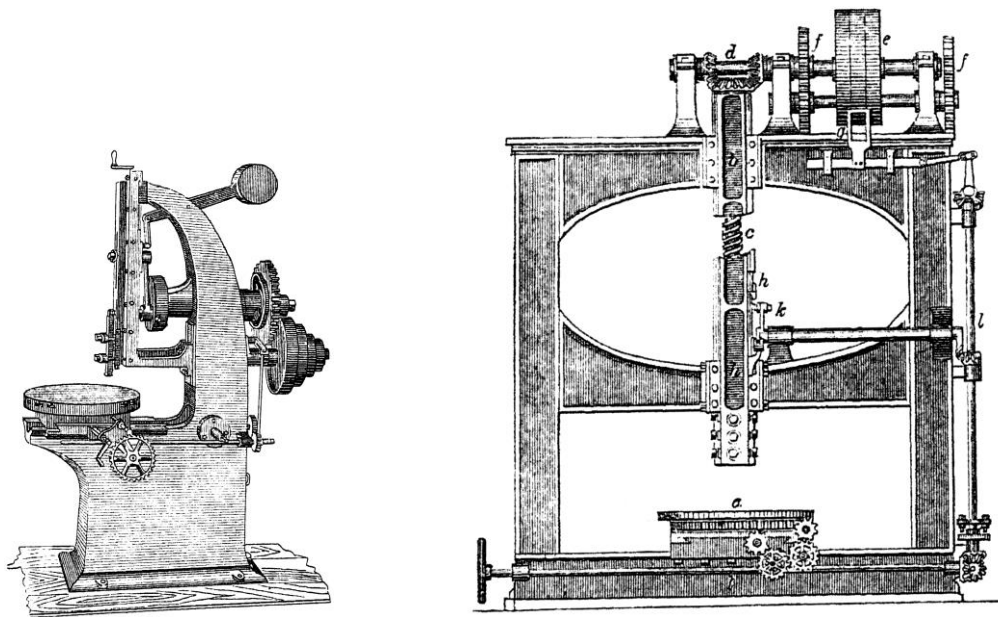
図 I-1-9 大形および小形シェーパー



Knight's American Mechanical Dictionary., Vol. III, p.2132, Fig.4912.

続いて，図 I-1-10 には 19 世紀後半，米英の大小スロットが示されており，いずれも回転テーブルを備えていた．スロットがキー溝切削専用の小形工作機械ばかりであったワケでは決してなく．大形の方などは重量級の 4 面加工機と呼ばれるに値する体躯を有していた．

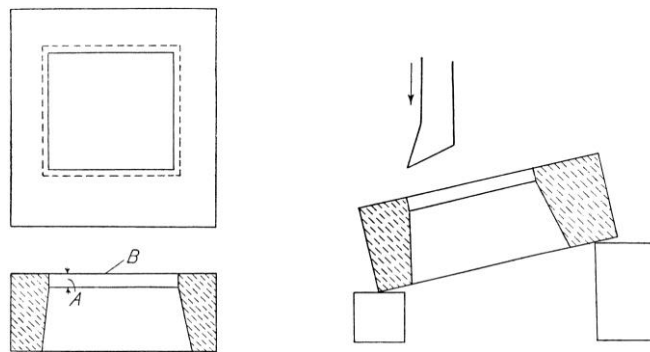
図 I-1-10 William Sellers & Co.(米)のスロットとイギリスの大形スロット



Knight's American Mechanical Dictionary., Vol.III, p.2215, Fig.5208, p.2216, Fig.5210.

ワークに枕をかまして傾斜切削を行うことぐらいのことはスロットの大小を問わず，茶飯事であった．図 I-1-11 はパンチ加工用の雌型に逃げ面を工作する状況を示す．*B* が切断面で，摩耗して角が丸くなれば面研を行って回復させる．*A* がその再生代となる．ちなみに，この切削のみではピラミッドの稜線付近を削り残すことになるが，ここを落すには枕に傾斜を与えたのかも知れない．

図 I-1-11 スロットを用いた傾斜切削

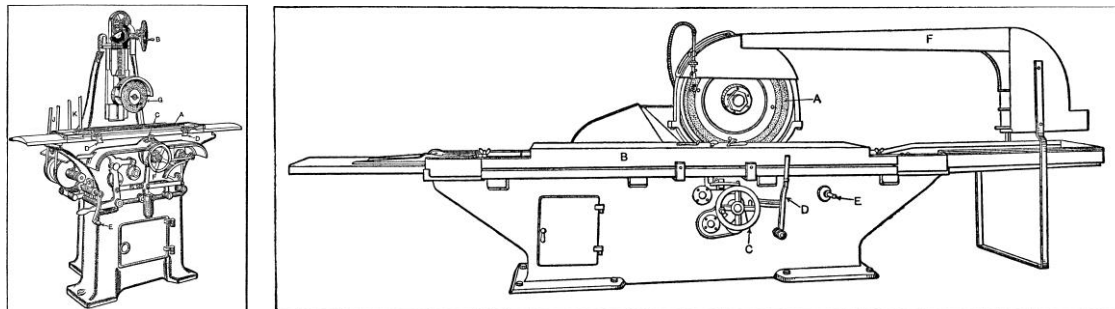


山口『平削盤，形削盤及堅削盤仕事』62 頁，第 105, 106 圖．

バイトによって切削されたワークの表面粗度を高めるには各種の平面研削盤が用いられた．図 I-1-12 左は 20 世紀初頭に用いられていた小形のテーブル往復型平面研削盤，同右は大形のそれ，図 I-1-13 はテーブル回転・垂直軸型(Cone-Blanchard Machine Company[米]型)平面研削盤を示す．テーブル往復型平面研削盤の送りと切込みはプレーナと同様である．

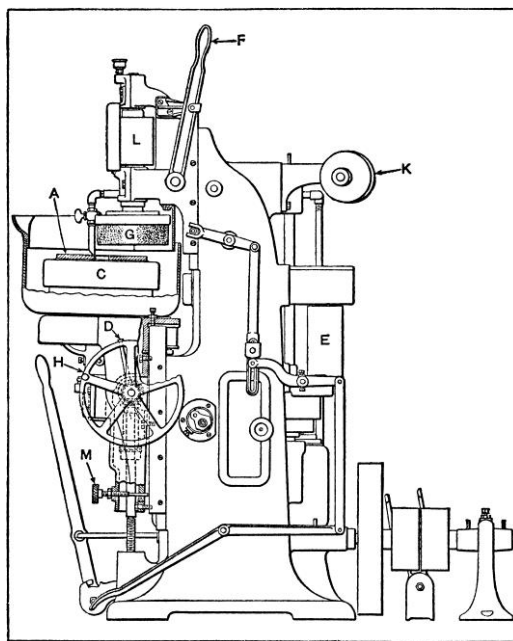
Blanchard 型はテーブルの往復動を伴わぬため、折返し時の衝撃が発生せず高精度の研削が可能である反面、あまり大形にはできない。

図 I-1-12 テーブル往復型平面研削盤



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. III, p.440 Fig.12, p.441 Fig.14.

図 I-1-13 Blanchard 型平面研削盤



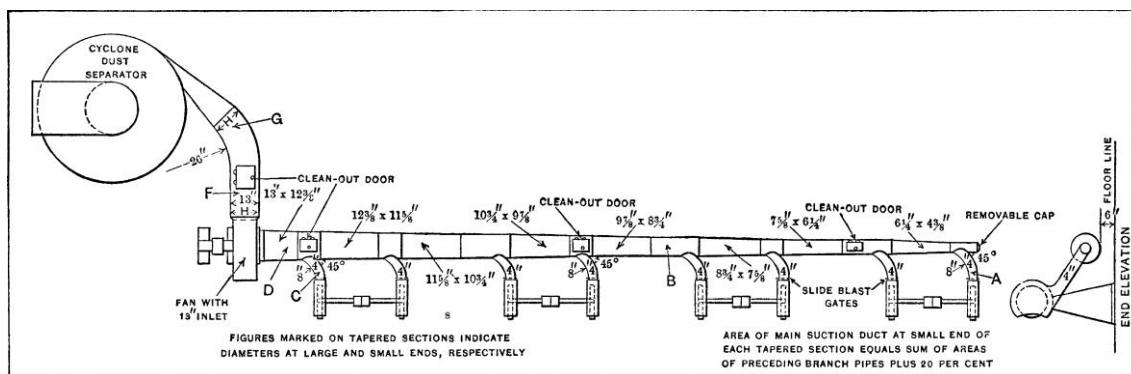
ditto., p.440 Fig.13.

図 I-1-13 において G はカップないしリング状の砥石車, A は円盤状のワークを拘束する回転式磁気チャックである。ここではワーク A を微妙な凹面に仕上げるため、M の調節によりチャックを載せた“ヒザ”は若干傾斜せしめられているが、当然、これを水平にして 1 個ないし多数のワークを均一の厚みに研削することも可能であった。多数のワークの脱着を迅速化するためスライド上に載せた回転テーブルを進退されるタイプが生産型として開発されたりもしていた。

なお、切削点から立ち昇る切削油の煙は作業環境悪化の要因となるが、研削に伴う大量の粉塵は一層、有害である。それは油煙のようにおいそれとは上に抜けてはくれず、ある時間、室内大気中を浮遊し、やがて沈降する。研削を湿式で行えば粉塵除去と冷却とを水に委ねることができる。図 I-1-12 右の大形平面研削盤はこの湿式研削用で、F は水の飛散を防ぐガードである。

研削盤が乾式研削に供される場合、作業者の健康と労働条件を護ることにより作業効率を増進させるとともに機械寿命を延長し、更には火災の危険をも抑制するため、図 I-1-14 に例示されるような排気装置が整備されることを常とした。本図は 14in.(355.6mm)砥石車を持つ両頭グラインダ 4 台を並列させた現場の排気装置平面図である。

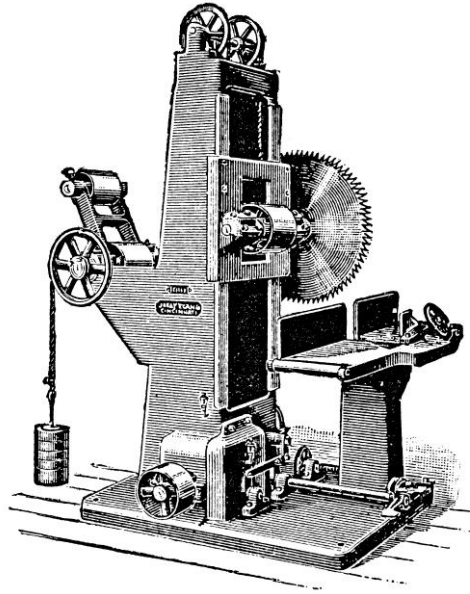
図 I-14 両頭グラインダ 4 台を並列させた職場の排気装置



from ditto., p.75.

突切盤には 2 様あり、切断工具固定式のそれは旋盤に、大きな回転式カッタを用いるそれはフライス盤に似ている(図 I-1-15)。シャーリングやパンチング、プレスや鍛造ハンマは工作機械に分類されたりされなかつたりする。

図 I-1-15 J.A. Fay & Egan Co.(米)製メタルソー兼溝切盤



from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives.*, p.419.

鋸径 40in.(1016mm), 最大切断々面積 13in.², 溝切アタッチメント幅 6×深 1 1/2in.(152.4×38.1mm).

2. 通史

手持ち工具による作業を機械化する複雑な機構の誕生は 18 世紀末に起源を発する。その後の文明史は急速な発展を示し、19 世紀は“機械の時代”と呼ばれるにふさわしい。蒸気機関、汽船、蒸気機関車、繊維機械の重要性は誰にも理解されている。しかし、機械屋以外で機械を作る機械の発達抜きにそれらが考え出されも造り出されもしなかったことに気付いている人はごくわずかしかない。工作機械の発達は他のあらゆる機械類や近代的発明の基礎なのである。

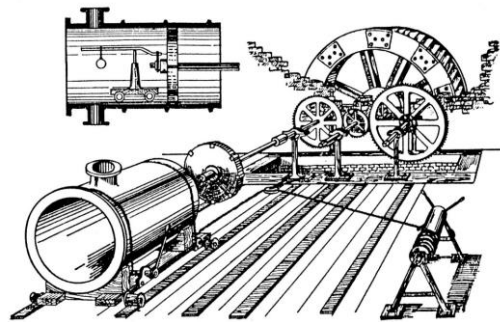
1780 年時点における金属切削の能力は中世とさして変りなかった。当時の機械工や水車大工たちはほぼ、ハンマとタガネとヤスリだけを用いて作業を行っていた。疑いもなく、18 世紀における最高の機械工はフランス人であった。彼らの業績の中には近代的工作機械の多くに係わる示唆が含まれている。しかし、彼らの性向は手工の洗練と技巧的新案物に向けられており、商業ベースの大量生産にはほぼ無関心であった。

近代的 work 機械の真の発達はほぼ完全にイギリスおよびアメリカにおいてなされた。旋盤、プレーナ、シェーパ、ボール盤、蒸気ハンマのような汎用工作機械およびタップやダイスのような小さな工具は 1800 年から 1850 年の間にイギリスで開発された。時代的には一部、それと重なりつつ、とは言え主として 19 世紀後半、アメリカにおいては自動ネジ切り盤、自動旋盤、万能フライス盤、ドロップハンマ、あらゆる種類の専用工作機械および互換性生産システムが開発され、最後のものにはジグ、取付具およびリミット・ゲージが含まれている。

3. 初期イギリスの中ぐり盤

“近代的”工作機械の嚆矢は 1775 年、John Wilkinson(英：1728~1808)によって製作された中ぐり盤である。これに先立って John Smeaton(英：1724~92)は 1769 年に軽構造の片持ち主軸端部にワーク内面を転がる補助キャリヤを副える形で担持される大きな回転式工具ヘッドを有する 1 台中ぐり盤を建造していた(図 I-3-1)。中ぐりされるシリンダは床に敷かれた軌道上の粗野な台車に載せられてカッタに向って送られた。工具ヘッドは孔の凹凸をなぞる格好になったから、その表面の局所的凹凸を均す以上のことはできなかった。Watt の最初の蒸気シリンダはこの機械によって中ぐりされ、彼は内径 18in.(457.2mm)のワーク 1 つについて $\frac{3}{8}$ in.(9.525mm)の誤差が生じたところぼさざるを得なかった。

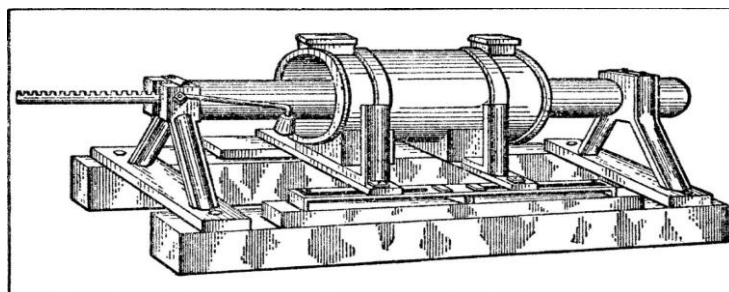
図 I-3-1 Smeaton の中ぐり盤



L.,T.,C., Rolt/磯田 浩訳『工作機械の歴史』平凡社、1989 年、55 頁、図 17。

Wilkinson はシリンダを貫通するように太く剛性に富んだ中ぐり棒を渡し、その終端を外置きの軸受で支える Smeaton も James Watt(英：1736~1819)も思いつかなかった一計を案ずる。この機械(図 I-3-2)を用いれば内径 57in.(1447.8mm)のシリンダは $\frac{1}{16}$ in.(1.59mm)以内の誤差を以って中ぐり可能となった。従前、実験的段階にとどまっていた Watt 蒸気機関の商業的成功を裏付けたこの機械の重要性が過大評価されることは決してない。

図 I-3-2 Wilkinson の中ぐり盤要部



Roe, Fig.1.

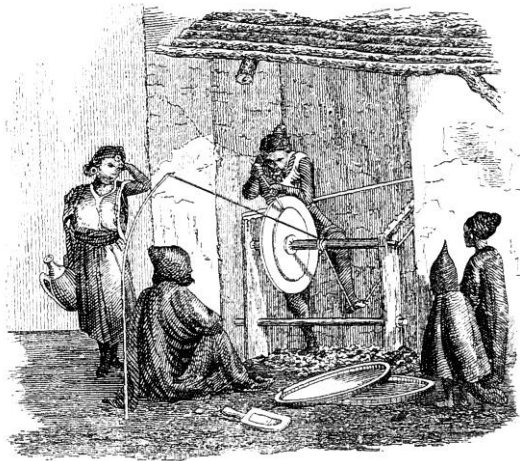
4. 旋盤と工具送り台の開発

イギリスで 1680 年に刊行された Moxon の先駆的著作に拠れば、その時点において旋盤は楕円形を含む高度な装飾的木工品を挽くまでの発達水準に達していたものの、工具送り台(往復台)が発明されるまで、それ以上のことは何一つできなかった。切削工具を固定した位置にクランプする仕掛けは比較的初期から用いられて来たが、工具送り台に係わる最初の記録は 1772 年を嚆矢とする。この年、フランスで刊行された百科事典の中に卓越した工具送り台に関する完璧な図面と詳細が掲載されている。1741 年という早い時期に York の時計師 Hindley は変速歯車付きネジ切り旋盤を製造している。これは時計製造業においてのみ用いられる非常に小さな機械であった。しかしながら、これら初期の開発のどれ一つとして商業的重要性もなければ工作機械の発展に対する直接的影響も及ぼさなかった。

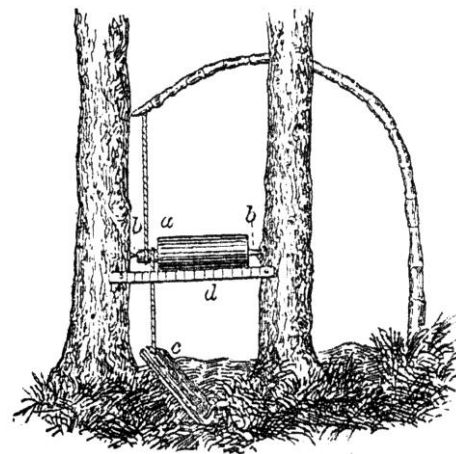
近代的工作機械の真の基礎は 1794 年、一般的、実用的適用を受ける最初の工具送り台を開発した Maudsley によって固められた。明らかに、Maudsley は 1772 年より前から使用されていたフランスの工具送り台について知るところがなかった。そして、彼によって造られた工具送り台の設計に追従した発展ゆえに、工具送り台の開発に係わる名誉はロンドンの Henry Maudsley に帰せられている。工具送り台に係わる Maudsley の設計がなされた頃まで、最良の旋盤と言えば木製のベッド案内面(ways or shears)、軽構造の主軸台と心押し台、手持ち工具用の調節式刃物台を有し、金属のみならず木材に対して用いられる実質的に今日の木工旋盤のごときのものであった。それ以前においてなされたあらゆる改良は、その時代、機械的技巧において独占的地位を有していた時計師たちによって用いられる非常に小さな機械に対するものに属していた。

1800 年頃、Maudsley は親ネジおよび変速ギヤ付きの工具送り台を持つ彼の旋盤を提供し、爾後、近代的工作機械の発展は連続的かつ急速となった。この組合せは明確に Maudsley のものであり、史上、最も偉大な発明の一つとしての分類に値する。サウス・ケンジントン博物館(ロンドン)にはこのアイデアがいかに急速に発展したのかを示す 3 台の旋盤が展示されている。第 1 は木製ブロックに 2 つの止りセンタをセットした古い木製のポール旋盤である。1 本のヒモないし帯が下方の踏み板から旋削されるワークを 1 巻きして天井に取付けられた木製の弾性ポールへと達している。踏み板を踏むことでワークは交互に正転と逆転とを繰り返す。切削は正転時に手持ち工具によってなされる。この旋盤は 1800 年製で、当時の技術状況をよく反映している(図 I-4-1)。

図 I-4-1 旋盤の原初的形態



アフリカで用いられたボール旋盤



カルパシア山脈地方で用いられた旋盤

Knight's American Mechanical Dictionary, Vol. II, p.1261 Fig.2830, 2831.

第 2 は Maudsley の最初のネジ切り旋盤の 1 台である。それはベッドとしての三角棒 2 本，鋳鉄製の主軸台と心押し台，主軸台の中，三角棒の間に主軸と一对の歯車で連動される低い主軸を持っている。この低い主軸は工具送り台に面した端部にフォーク状のクラッチを有し，そこに工具の送りを制御する所望のピッチを付与された親ネジが嵌り込む。これと異なるピッチが望まれる際には親ネジが必要とされるピッチを有するそれに交換される。この機械は 1797 年頃に製造された。

1800 年に製造された第 3 の機械は決定的に近代化されている。それは良く設計された鋳鉄製ベッド，1in.につき 30 のピッチを有する単一の親ネジ，歯車変速装置およびワークのたわみを抑える後振れ止め付きの強固で造りの良い往復台を有している。15 から 50 までの歯数を持つ 28 枚の変速歯車が用いられている。この機械と共に，それによって切られた 1in.当り 16 から 100 のピッチを有する約 2ft.の長さのネジ見本が展示されている。

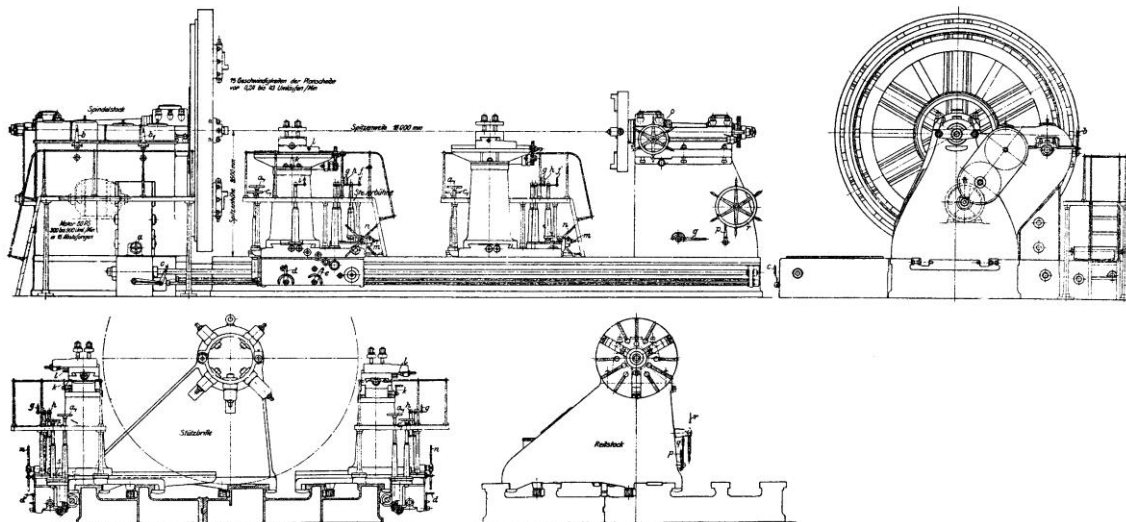
5. 工作機械の発展に対する Maudsley の影響

その死の直前，1831 年に Maudsley は直径 9ft.(2743.2mm)の面板を持ち直径 20ft.(6096mm)の弾み車の旋削と内径 10ft.(3048mm)までの蒸気シリンダの中ぐりが可能な旋盤を製作した。これは今日においてさえ十分に大きな機械であり，一人の男の人性の中で旋盤の発達がいかに急速であったかを示している。

巨人機伝説のついでに後年の大形旋盤に係わる事例を引いておく。図 I-5-1 は 20 世紀はじめ，大形工作機械の名門 Wagner und Co., Werkzeugmaschinenfabrik(ドイツ：所有形態は転変し，'89 年には Thyssen Maschinenbau 傘下に)によって建造された大形旋盤である。この旋盤は芯間距離 16000mm，ベッド上の振り 5000mm で，往復台が両側に張出している構造ゆえに 5000mm という大きな往復台上の振りが確保されていた。つまり，本機は今日の超ロングストローク船用大形低速 2 サイクル・ディーゼル機関のクランク軸をも扱い

得るサイズを有していたことになる。主電動機は 80PS, その回転数は 300~900rpm の間で 15 段階に変化させられた。5 段のギヤボックスを備えていたから主軸は 0.24~43rpm の間で都合 75 段に変速され得た⁹。

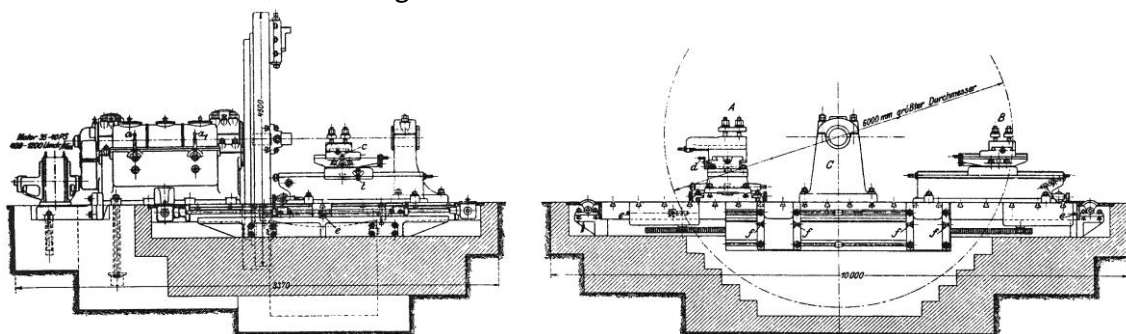
図 I-5-1 20 世紀初めの Wagner 製大形旋盤



長谷川編『工作機械設計資料』50 頁, 第 57 圖¹⁰。

同じ資料には同社の大形正面旋盤が「大型鏡旋盤」なる古称で紹介されている(図 I-5-2)。面板直径 4500mm, ベッド上の振り 6000mm, 主電動機は 35~45PS, 400~1200rpm とある。一からげに大形旋盤などと言ってもワークの形状や工作部位に応じて様々なタイプが用意されていたワケである。

図 I-5-2 20 世紀初めの Wagner 大形正面旋盤



⁹ 主電動機は三相誘導電動機で, その速度制御に電動機固定子鉄心に巻かれる巻線を区分し, 通電巻線数を変化させる極数変換制御法が使用されていたことがわかる。

¹⁰ 同書ではメーカー名についてご丁寧に「ワーゲル(Wager)」などと表記しているが, 左様な商号の工作機械メーカーなど存在しはしない。

同上書, 54 頁.

わが国において同社製大形旋盤の 1 台が大和級戦艦の主砲々身旋削に使用された一件はよく知られている. 現存する当該機は図 I-5-1 の機械より面板径が小さく芯間距離は長く, いかにも軸旋盤風である. それなら深孔ボール盤機能(アタッチメント)が付属せしめられていて当然である. とまれ, 当該機は疑いなく図 I-5-1, -5-2 の両機とシリーズ化された機械の一つであったことになる.

Maudsley は 1801 年から'07 年にかけて, ポーツマス(イングランド)海軍工廠にイギリス海軍の木製滑車装置製作のために据え付けられた機械類を製作している. この工場は総体として完全な専用工作機械の体系をなし, それぞれが限定的な諸工程の連鎖の中でそれ自身に割当てられた部分を遂行する 44 台の機械から構成されていた.

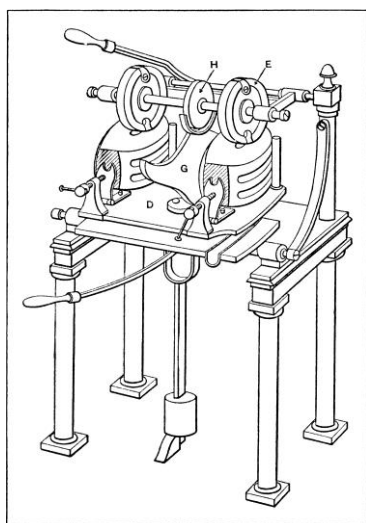
熟練作業者の労働を専用の機械に置き換えるという全般的計画は Sir Samuel Bentham に, その種の機械の設計は Marc Isambard Burnel に負っていた. それは Maudsley が引受けた最初の大口注文であり, ポーツマスの機械類に示される細部まで貫かれた工作精度は専ら彼に帰属する. それは彼の名声を確立し, 彼が終生, イギリスの機械屋たちに対して及ぼすことになる広範な影響力の出発点となった.

Maudsley と彼のパートナー, Joshua Field との工場は全世界で最も影響力の大きなものの一つとなった. Joseph Clement, Richard Roberts, Sir Joseph Whitworth, James Nasmyth, そしてより知名度の低い多くの人々がそこで働き, 他の工場へと移り, イギリスが 2 世代に亘って工作機械製造技術分野で保有した卓越性の基礎を築いた.

ポーツマス海軍工廠における滑車装置製造用に造られた機械の 1 台が図 I-5-3 に示されている. この機械は固定ロープないしケーブル用滑車ブロックの溝切りに使用された. 図は 2 つのブロックがテーブル D 上でピラーに挟まれ, 上方に位置する回転カッタ E によって削られた状況を示す. 実際の切削はブロックを 90° 倒した状態で行われた. カッタ E はスィング・フレーム上の駆動プーリ H を持つ軸によって支持されていた. 上のハンドルを操作してスィング・フレームを圧下させれば切込が始まる. この際, H の下に位置するスィング・フレームに取付けられた湾曲板が型板 G に接しつつその表面を滑ることによりテーブル D は前進せしめられ, 切込と送りとが同時進行し, 凹部の底にて停止する. これはつまり, 一種の倣いフライス盤による加工であった¹¹.

図 I-5-3 Portsmouth Navy Yard 向け滑車製造専用機の一つ

¹¹ この機械については Roe の記述も Knight の図も心許ないため, 前者の図と後者の解説とを考量折衷の上, 記述した. cf., *Knight's American Mechanical Dictionary*, Vol. III, p.2056, Scoring-machine, Fig.4683.



Roe, Fig.2.

6. プレーナの発展

工具送り台を裏返した展開形態であるプレーナは数人の男たちによって独立に発明された。己が発明との主張は半ダースを下らない。リーズの Matthew Murray は 1814 年という早い時点で Watt の助手であった Murdock によって発明され、Murray によって改良された D 型滑り弁の表面を仕上げるために 1 台のプレーナを造ったと言われており、彼は D 型滑り弁によって作動する蒸気機関を初めて製作した人物と目されている。マンチェスターの Richard Roberts はプレーナに係わるいま一人の発明者であった。サウス・ケンジントン博物館は 1817 年、彼によって製造された、現存する最古のプレーナの 1 つである 1 台を所蔵している。それは手動機械でチェーン駆動の長さ 52in.(1320.8mm)、幅 11in.(279.4mm) のベッドを有している。その全般的設計は近代のプレーナと同様である。それは垂直および水平送り、角度調節、ヘッドに対する分離式工具送りの諸機能と戻り行程において工具が旋回してワークを超えられるように蝶番式工具クランプを有していた。ベッドと案内面とに残るタガネとヤスリの痕跡はこの機械が他のプレーナの助けなしに製造されたことを示している。

著名な工作機械メーカーの創設者であるダービーの James Fox は 1821 年頃、レース編み機のフレーム製作のために 1 台のプレーナを製造したと言われている。Sir John Rennie の兄弟である George Rennie もまた、1820 年頃、当時存在していた他のものについて知るところなく、1 台のプレーナを造った。Joseph Bramah の高弟、Joseph Clement が 1832 年の *Transactions of the Society of Arts* (London)にて詳解された注目に値する 1 台を製作したのは 1825 年頃であった。それは 6ft(1828.8mm)角、長さ 12ft(3657.6mm)のワークを扱うことができ、長年、“the great planer”として知られていた。ベッドはローラの上を走り、その据付は 1 枚の紙がローラの一つに噛み込まれれば他のローラは停止するであろうと言われるほどの正確さと伝えられた。それは前進および後退の両行程で切削が行われ得るよ

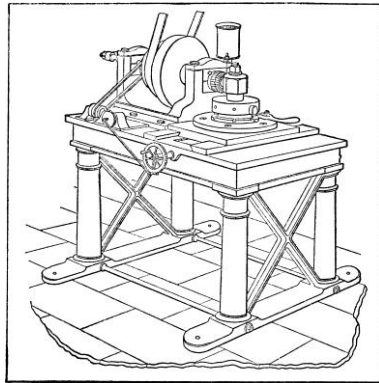
う工夫されていた。“通常の工作においてその作動を継続させるには 1 人の力で充分であったが、往復行程の全長を丸ごと切削に充てるような場合には 2 人を要した” 10 年以上に亘り、このプレーナは日夜、賃加工に供され、Clement の主たる収入源であり続けた。Smiles は平削りに対して彼が課した賃料は 1 平方フットに対して 18 シリング、即ち 4.32\$ であったが、1 日 12 時間にすればそれは 10 ポンドに、あるいは昼夜二交替にすれば 1 日 100\$ にも達したと述べている。

7. Nasmyth と彼の発明

James Nasmyth は Maudsley の教え子の一人であった。Samuel Smiles によって編纂された Nasmyth の自叙伝は機械工学に興味を持つ者ならだれもが楽しめる書物である。Nasmyth は幼少期から父親個人経営の仕事場で遊び、20 歳になる前には偉大なる Maudsley 氏の下で働くことを生涯の大望と心得るまでの専門的機械工となっていた。彼は父に伴われてロンドンへと赴き、Maudsley を訪ねたが、氏は二人を丁重に迎え、その工場を案内した。Maudsley は当初、ジェントルマンを徒弟にして上手く行ったためしはなく、次にもう一人を雇うことは決してしないと決断した旨を告げ、Nasmyth の雇用について考慮することを辞退した。しかし、Nasmyth はエンジンバラから持参した数多くの図面や蒸気機関の実動模型を彼に提示した。Maudsley は瞬時にして Nasmyth が尋常ならざる技能を持つ機械工であることを悟り、彼を雇用することにどまらず、自らの事務所に個人的助手として迎え入れた。Nasmyth は Maudsley が亡くなる 1831 年までこの地にとどまり、やがて自らの会社を興す。

彼はイギリス第一級の工作機械製造家の一人となり、永らく Nasmyth の“蒸気腕”として知られることになるシェーパを発明した。Maudsley の下にある時、彼は六角ナットの側面切削のための割出し装置付きフライス盤(図 I-7-1)を発明している。彼は鋳物工場で用いられるウォームとウォームギヤとをフレームと取鍋とに配した傾斜式取鍋の発明者でもあった。それ以前、取鍋はテコにより手動で傾けられることを常としていたため、頻繁かつ重大な事故の発生源となっていた。Nasmyth は寛容にも労働者の安全を慮ってその発明の特許登録を控え、傾斜式取鍋の使用はたちまちにして一般化した。

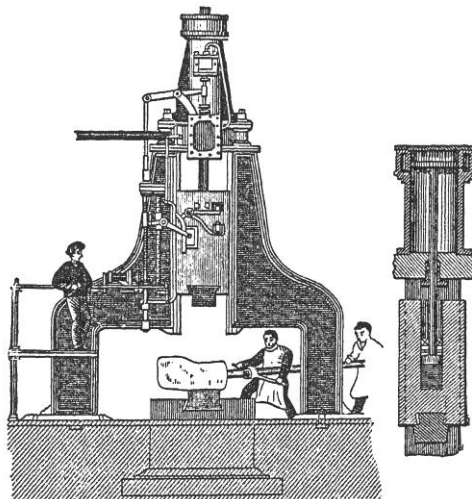
図 I-7-1 Nasmyth の六角割出し装置付きフライス盤



Roe, Fig.3.

彼の機械製造業に対する最大の貢献は 1839 年 11 月に発明された蒸気ハンマである。彼がそれを製造するいとまを見出すより前に、蒸気ハンマに対する差し迫った必要はなくなり、彼はそれへの関与を停止した。しかしながら、蒸気ハンマについての彼のスケッチはしばしば他の人々の眼に触れた。その一人がフランス、クルゾーの Schneider 氏であった。かのスケッチが作成された 3 年後の 1842 年、Schneider は渡仏中であった Nasmyth に彼の蒸気ハンマで製造された素晴らしい鍛造品を見せた。不思議の念と驚きとに包まれた Nasmyth は鍛造工場へと導かれ、彼自身が発明した蒸気ハンマと初めて対面した。幸いなことに、彼はまだこの機械の特許で守ることができ、2 か月後に特許が取得された。蒸気ハンマの歴史と影響力は周知のことに属する。この道具は重機械製造能力を著しく向上させた(図 I-7-2)。

図 I-7-2 Nasmyth の蒸気ハンマ



Knight's American Mechanical Dictionary., Vol.III, p.2347 Fig.5686.

8. 工作機械発展の一要素としての Whitworth

イギリス工作機械製造者第一世代の業績は Sir Joseph Whitworth のそれにおいて頂点に達する。彼はほとんどのイギリス機械製造家と同様、北イングランドの産で、Maudsley, Clement 双方の下で働いた。この人々から相次いで受けた影響は標準ネジの開発一つを取っても例示されている。Maudsley は使用されるネジについてサイズ毎にネジ山の数と大きさを指定し順守することを通じて彼自身の工場におけるネジピッチの標準化を行った。Maudsley の下で働いた Clement はこれらの標準を採用し、改良してタップやダイスの製造家となり、タップを逆転させて抜き取る手間を省けるよう、細いシャンク付きの貫通式タップを発明した。Whitworth は Clement と Maudsley の業績を承け、汎用されているネジのネジ山すべてを入念に研究した後、1841 年、Institute of Civil Engineers にて発表された論文の中で大英帝国全体に一般化し今日においても Whitworth 標準ネジとして受け継がれている標準を提案した。

Whitworth が独立して仕事を始めた時点までに、ほとんどの汎用工作機械は発明されていたが、彼による設計や出来栄の改善は顕著であったため、彼はイギリスにおける工作機械のあり方を数世代に亘って領導することとなった。彼は従前、知られていなかったほどの高い精度を商業的製造品に導入したが、それは測定方法に係わる彼の改良があったからこそ実現されたものである。彼のゲージはイギリス、そして事実上、世界の標準となった。

1853 年、Whitworth はイギリス使節団の一員として合衆国を訪れたが、アメリカ流の銃器製造機械と互換性方式とがイギリスに紹介されたのはこの使節団によってである。彼はライフル銃や大砲の開発に多大の影響を及ぼした。この分野における彼の業績だけでも彼を偉大な機械技術者の一人として位置付けることができよう。Whitworth 方式の権勢そのものがイギリス工作機械製造家における技術的指導性喪失の要因になったように想われる。1850 年時点において Whitworth は世界で最も先進的な工作機械製造家であった。しかし、彼の権威性はイギリスの機械製造家をして次の 50 年においても彼の設計や方法を墨守せしめるほどに高く、かくて工作機械製造におけるリーダーシップは徐々にアメリカへとシフトして行くこととなる。

9. 初期のアメリカ製工作機械

アメリカにおける工作機械製造はイギリスにおけるとほぼ同時期に創始され、2 つの全く独立した淵源を有している。1789 年、Arkwright の下で修業したイギリスの機械工、Samuel Slater が出港禁止を破ってアメリカに到着した。フィラデルフィアでの短い逗留の後、彼はロードアイランド州ポータキットに居を構え、かの地でアメリカ発の繊維機械を製造した。北部ロードアイランドは機械工の種族の本拠地であった。Jenks, Wilkinson, Brown および Greene の名はニュー・イングランドにおける製造業の始まりについての記録の中に耐えず現れて来る。Slater は間もなく彼を取り巻く人々のリーダーとなった。彼は機械工であると同時に良き商人であり、ニュー・イングランド綿業の興隆に他の誰にも増して貢献した。アメリカにおいて、一般的な工作機械はこれら綿業機械を製造する機械工たちによって

開発され、一世代近くに亘って機械工業はナラガンセット湾周辺に集積した。ここから、それは次第に北方へと拡大した。1822年、Slater, Larned Pitcher および Ira Gay はニュー・ハンプシャー州マンチェスターの小さな繊維会社を買収し、Amoskeag Manufacturing Co. を設立した。今では世界最大の繊維工場の一つとして知られているが、その初期において同社は蒸気機関車、蒸気機関、ボイラ、工作機械とあらゆる種類の繊維ならびに工場設備機械を製造した。その影響力は絶大で、ナシュア(N.H.)、ローウェル(Mass.)、ローレンス(同)の発展を大いに支えた。Ira Gay はポータキットを離れ、後にノース・チェルムスフォード(Mass.) に小規模ながら相当な影響力を発揮した企業の一つである Gay, Silver & Co. を設立した。

蒸気舟運の発達とともに商業的重要性の点でプロビデンスがポータキットを凌駕するようになり、以後、そうあり続けているように製造業拠点となった。名を成した多くの工場はその濫觴を19世紀の初期に有している。The Builders Iron Foundry は1820年頃に創業した。The Rhode Island Tool Co. は David Wilkinson の下で丁稚奉公していた Jeremiah Arnold により1834年に創業された。The American Screw Co. は Eagle Screw Co. として1838年、William Angell によって組織化された。

10. Joseph R. Brown とアメリカ工作機械の発展

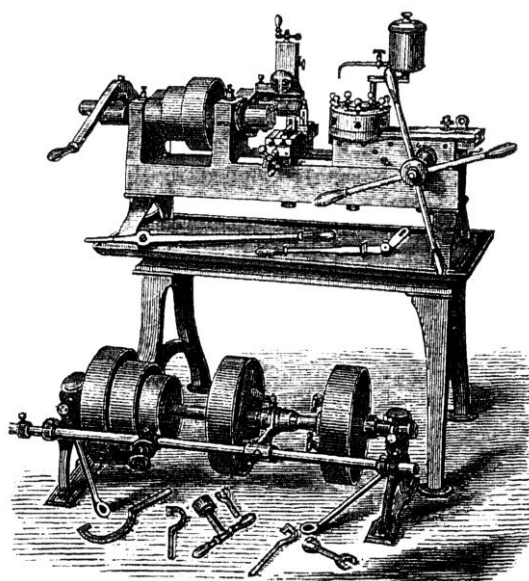
世界で最も大きな影響力を有する一社であり、プロビデンス最大の工場である Brown & Sharpe Mfg. Co. は1833年、David Brown とその息子、Joseph R. Brown によって設立された。当初、彼らの事業は腕時計や掛け時計の修繕ならびに数学機器の製造であった。1850年頃、Joseph R. Brown は1台の直線目盛生成機を開発し、翌年には $1/1000$ in.(約 $1/40$ mm)まで読取り可能なノギスを創製した。世界で初めて、それは機械工が日々の仕事の中で精密測定を行い得るようにした。Brown & Sharpe Mfg. Co. の商号と切っても切り離せないマイクロメータは1867年に創製された。測定用ネジの一般的原理は非常に古く、イギリスにおいては200年を超える使用歴があった。Watt はその一つを所有しており、Nasmyth は Maudsley によって製造されたそれについて“大法官”と呼びつつ語っている。Whitworth はこの時までにはマイクロメータの原理に立脚し、驚異的な精度を有する測定器を開発していた。しかしながら、それらは何れの場合においてもベンチの上に載った、あるいはその汎用性が排除されるほどに大きく複雑な機械であった。ブリッジポートの Wilmot 氏による設計と Palmer なるフランス人機械工によって考案された目盛付けシステムとを組み合わせることによって Brown 氏は今日、知られているようなマイクロメータを開発した。高い工作精度をすべての機械仕事に普及させるに当ってこの装置が及ぼした絶大な影響力について注意を喚起する必要はほとんどなからう¹²。

¹² なお、Sandvik Steel Company によって製造された NiCr 棒鋼を材料とするブロック・ゲージがライフル銃工場、Eskilstuna Rifle Factory の見習工として工人人生をスタートさせた Carl Edvard Johanson(スウェーデン：1864~1934)によって創製され、精密加工の

1855年という早い時期に、Brown & Sharpe Manufacturing. Co.はまた高精度の歯切り盤を製造し、1861年にBrown氏はツイスト・ドリルに溝を彫るために万能フライス盤を開発した。彼の会社はまた二番付きのフライス・カッタを開発し、アメリカにおけるダイヤモンド・ピッチの普及にも大いに貢献した¹³。

万能研削盤は焼入れされた裁縫ミシンの部品加工を目的として彼によって改良された。決して自動タレット・ネジ切り旋盤の創造者ではなかったが、同社はこの種の機械についても第一級の製造家であり続けている(図I-10-1)。

図 I-10-1 初期の Brown & Sharpe 製タレット旋盤



Knight's American Mechanical Dictionary, Vol. III, p.2665, Fig.6824.

下に寝かされているのは段車などを備えたカウンター・シャフト¹⁴。

自動旋盤の一形態である自動ネジ切り盤は1880年代初期、Christopher Minor Spencer(米)によって発明され、自動工作機械の嚆矢となった。その作動は小形タレット旋盤のベッド下に仕組まれた1本の軸上に位置する様々なストラップ・カムによって自動制御された。図I-10-2はその多軸進化形で、ドラムA、B上には送り制御用の取外し式スト

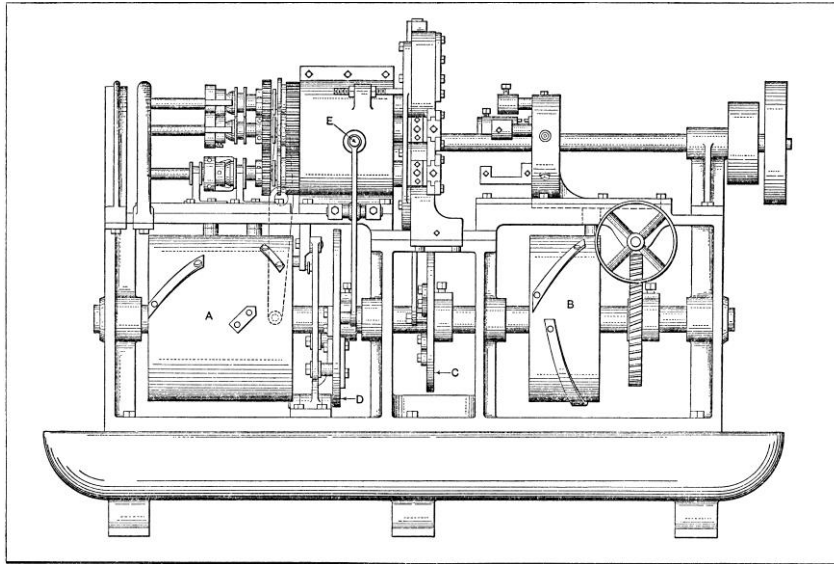
世界に革命をもたらしたのは1890年代末期である。Moore/長岡・畑中・栗原・加藤訳『超精密機械の基礎』154~158頁、参照。

¹³ ダイヤメトラル・ピッチ = $\frac{\text{歯数}}{\text{ピッチ円直径}} = \frac{\pi}{\text{円ピッチ}}$ 。寸法の単位はインチ。

¹⁴ 工場のライン・シャフティングについては拙稿「工場における動力分配の古典的技術体系について」、参照(→IRDB)。

ラップカム群, 円盤 C, D 上にはそれぞれ切込み制御用, 割出し制御用のドッグが観えている。

図 I-10-2 Spencer 自身の設計になる後年の取外しストラップ・カム式自動ネジ切り盤



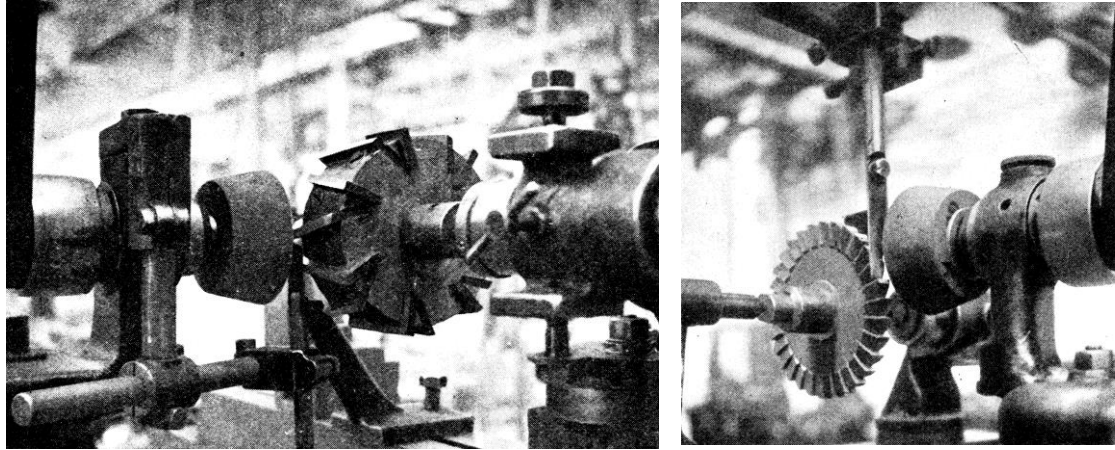
Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol. I p.193 Fig.18.

この原理は 20 世紀に入っても踏襲され, Alfred Herbert, Ltd.(英)の製品や Universal Machine Screw Company(米)の Hartford 型はその典型であった。Brown & Sharpe は円盤カムを用いる型式を開発し, 成功を収めた¹⁵。

なお, 1860 年代以降に観られたフライス盤の急速な発達を支えた要素の一つとして研削盤, エメリー研削砥石の進歩が挙げられる。これによってフライスカッタの熱処理なし, 焼入れされたままの状態での再研削が可能となり, フライス加工の手間とコストは大幅に削減された。図 I-10-3 は研削盤によるフライスカッタの研削状況を示す。

図 I-10-3 研削盤によるフライスカッタの研削

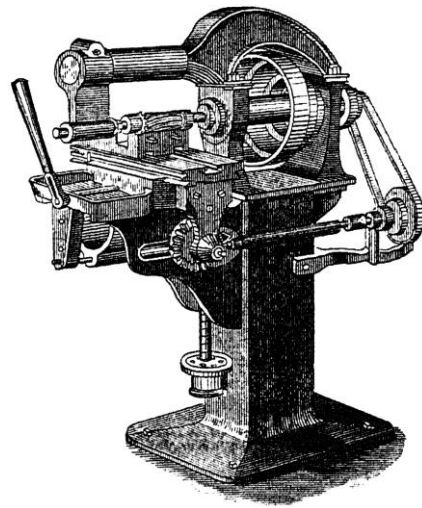
¹⁵ cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol. I p.179.*



Lord Montagu of Beaulieu and M.,W., Bourdon, *Cars and Motor-Cycles*. Vol.III London, 1928, p.1100
 Fig.101, p.1101 Fig.102.

図 I -10-4 は 19 世紀後半，アメリカ製の中～軽切削用平型フライス盤を示す．近代的フライス盤は互換性を持つ小物部品加工分野の革新者として登場した．熱間型鍛造，プレス，焼結，溶湯鍛造冷間鍛造といった工作法が洗練ないし開発されるまで，精密機械部品の工作法は機械加工による全面削り出しを柱として推移した¹⁶．

図 I -10-4 19 世紀後半のアメリカ製中～軽切削用平型フライス盤

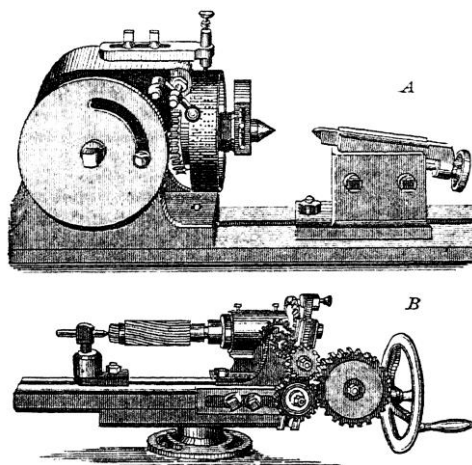


Knight's American Mechanical Dictionary., Vol. II, p.1441, Fig.3151.

¹⁶ 冷間鍛造は'20年代のアメリカにおいては機械式加算機，マシン，速度計，タイプライタ，電気製品，玩具，服飾雑貨の小物部品製造に実用されていた．cf., *ditto.*, Vol.VII p.293.

図 I-10-5 上は万能フライス盤の前駆形態とでも形容されるべき 19 世紀後半，アメリカ製のユニバーサル・ヘッド，つまり平型フライス盤用アタッチメントを示し，ワークを傾斜した状態でくわえ，平型フライス盤によるべベルギヤの歯切りその他を可能にしようとした機械である．同下は丸物の表面に例示されているようならせん溝をフライスカットするための水平旋回アタッチメントで，くわえられたワークを切削中，その軸回りに転がすカラクリである．その歯車列は機械本体と連動していないから，大した精度は保証され得なかった．

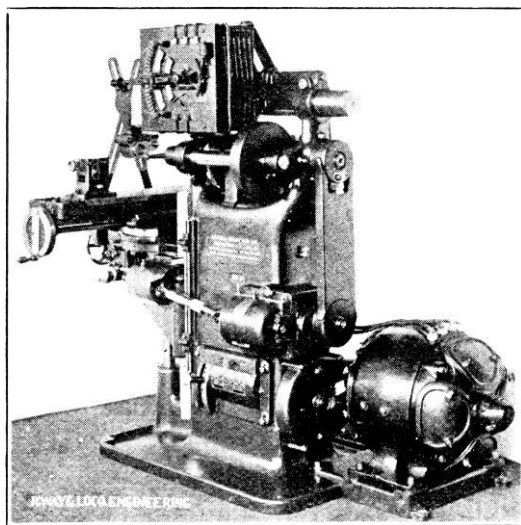
図 I-10-5 平型フライス盤用ユニバーサル・ヘッドとらせん溝切りアタッチメント



ditto, p.1442, Fig.3152.

図 I-10-6 は 20 世紀初頭，Brown & Sharpe Mfg. Co.が提供していた電動機直結型万能フライス盤(universal milling machine)を示す．各所の伝動には歯車とならんで Hans Renold のサイレント・チェーンが活用されていた．主軸は 17~416rpm の 10 段階に変速された．万能フライス盤は通常，ワークテーブルを水平面内で傾斜させることができ，総形フライスによるヘリカルギヤの歯切りやツイストドリルのらせん溝切削に威力を発揮した．

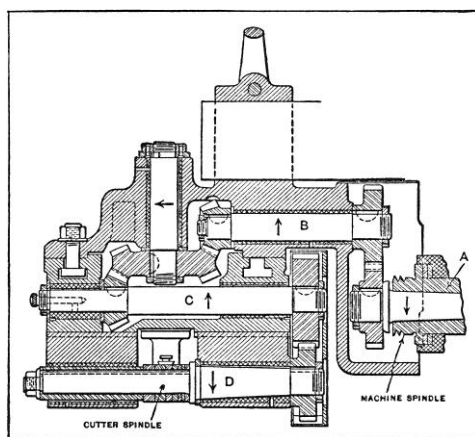
図 I-10-6 Brown & Sharpe Mfg. Co.製電動機直結型万能フライス盤



from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives.*, p.397.

もつとも、この種の万能フライス盤のテーブル旋回角度は最大でも $45\sim 50^\circ$ 程度にとどまったため、より大きな旋回角度を必要とする工作のために図 I-10-7 のような平フライス用アタッチメントが開発されている。A が機械本体の主軸で、中間軸 C とカッタ軸 D とを含むブロックを垂直軸回りに大きな角度で旋回させることができた。

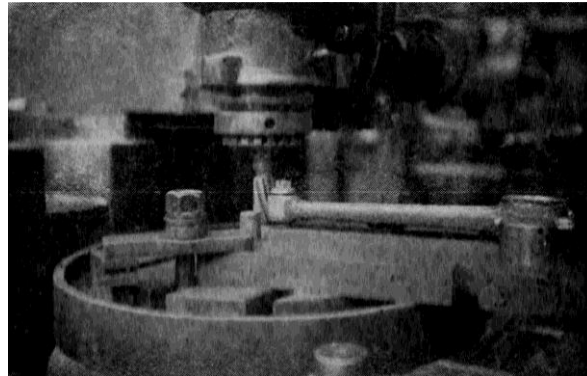
図 I-10-7 平フライス盤用 Spiral Milling アタッチメント



Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.IV p.388 Fig.3.

なお付言すれば、平型フライス盤の主軸につかませ得るフライスの、つまり、それによって可能となる切削加工の種類はごく限られている。仮令、平型フライス盤の主軸に直接(アーバを用いず)エンドミルをつかませたところで図 I-10-8 に示されるような、あるいはより複雑な工作を遂行することは至難の技となる。なぜなら、ワークの加工点が作業者から見てワーク自身ないし取付具の向う側に来てしまうからである。

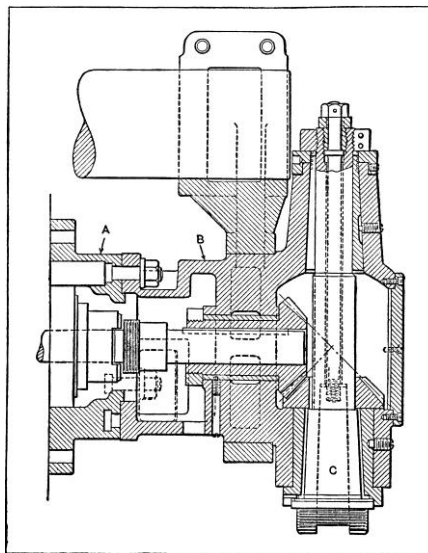
図 I -10-8 豎型フライス盤によるコネクティングロッド小端外周切削



Lord Montagu of Beaulieu and M.,W., Bourdon, *Cars and Motor-Cycles*. Vol.III, p.1145 Fig.107.

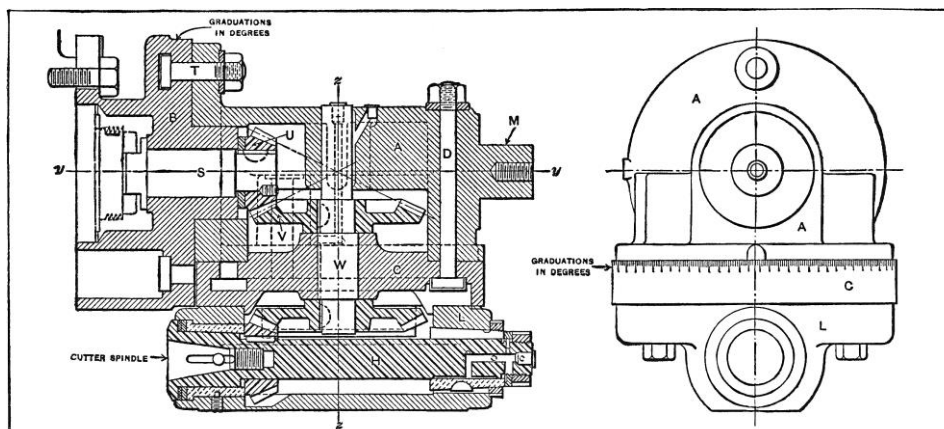
この不利を克服するため、小規模工場向けに平型フライス盤の主軸端に取付ける豎型主軸アタッチメント(Cincinnati Milling Machine Company[米→Cincinnati Milacron Inc., Milacron Inc. 工作機械部門は売却]ほか：図 I -10-9)や、カッタ軸を垂直および水平軸回りに旋回させることができる図 I -10-10 のような平フライス 5 軸制御化アタッチメントも製品化されていた。後者においては当該部を y 軸回りに 90° , z 軸回りに 90° 回転させれば平型フライス盤を豎型フライス盤へと転換させることができたワケである。

図 I -10-9 Cincinnati Milling Machine Co.の Vertical-spindle Milling アタッチメント



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.387 Fig.1.

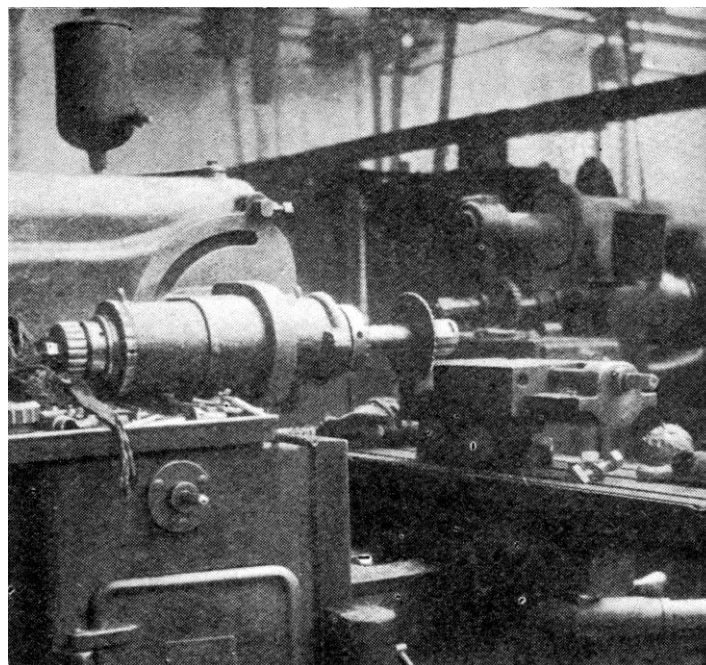
図 I -10-10 平フライス盤用 Universal Milling アタッチメント



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.387 Fig.2.

また、器用さではこれに劣るが、主軸の角度自体を水平、垂直に切換えられるタイプのフライス盤(図 I-10-11)なども開発された。その主軸は水平、垂直のみならず中間の角度で固定し、4軸制御の恰好で使用されるケースもあったかと想われる。だとすれば、これも万能フライス盤の一様式としてカウント可能な存在であったと言えよう。

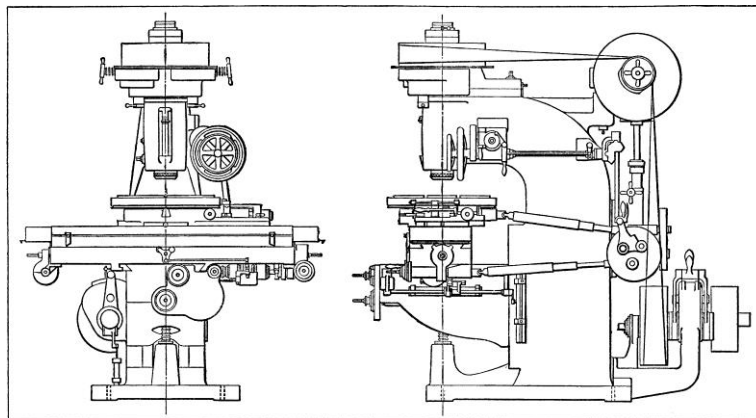
図 I-10-11 主軸の姿勢を水平、垂直に切換え得るフライス盤



Lord Montagu of Beaulieu and M.,W., Bourdon, *Cars and Motor-Cycles*. Vol.III, p.997 Fig.63.

しかし、やがては本格的な堅型フライス盤が世に送り出されることとなった。図 I-10-12 は正規の堅型の中でも“ヒザ型”として分類されるフライス盤の 20 世紀初期における姿を示す。

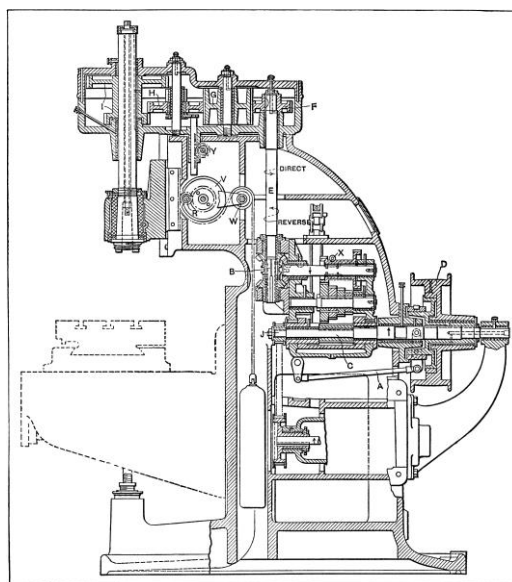
図 I-10-12 堅型フライス盤



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. IV p.393 Fig.3.

図 I-10-13 は今少し近代化された堅型フライス盤，とりわけその駆動系を示す。上に断面図を掲げておいたアタッチメント類と同様，そこに使用されていた軸受がすべて平軸受であった事実にも注目しておきたい。

図 I-10-13 ヒザ型フライス盤とその駆動系



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.425 Fig.48.

なお、この種の堅型フライス盤からは金型を工作する型彫り盤(die-sinking machine)が派生することになる。型彫り盤にはこのタイプと並んで片持ち式の横型フライス盤ないし横型中ぐり盤からの派生型が存在する。堅型は重力による主軸のたわみがない。横型においては高温の切粉を容易に排出できる。高い工作精度に対してそれぞれは異なった長所を有している。また、堅型フライスに主軸を傾斜させる、言い換えれば首をかしげる機能を与えた万能フライス盤も開発されているが、これはやや後の事蹟であった。

11. ニュー・イングランドにおけるその他の工作機械製造拠点

ポータキットからの北進に伴い、ウースターが次第に工作機械製造の中心地と化した。かの地においては繊維機械を製造する数多の中小工場が叢生し、1840年までにはこれらの工場は広範な影響力を発揮するに及んでいた。Samuel Flaggは1839年、この町で最初の工作機械工場を設立した。この工場に徒弟修業したL. W. Pondはこの事業を買取り、Pond Machine Tool Co.とし、1888年、プレインフィールドへと移転させた。この会社は今日のNiles-Bement-Pond Co.の一部となっている。近隣のフィッチバーグではJohnとSalmon W.のPutnam兄弟がPutnam Machine Co.も基礎を築いた。彼らもまた繊維機械の製造を始め、やがてその事業を工作機械製造へと展開させた。彼らは蒸気機関の製造家でもあり、鑿岩機の発明においても重要な役割を演じた¹⁷。

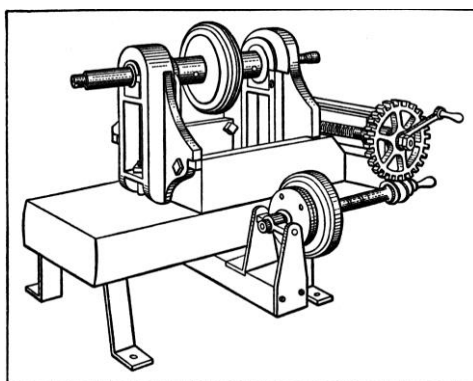
12. Eli Whitney と互換性生産

従前、考察されて来たアメリカ的発展は既述された二つの源泉の内の最初のもの、即ちポータキットおよびその周辺における初期の影響から直接、間接に発していたしかし、最も典型的なアメリカ式発展は今一つの源泉から生じている。Eli Whitneyは1791年、イェール大学を卒業し、同年秋にその起源を明確に一人の人物に求め得る稀有の大発明の一つである繰り綿機(saw gin)を開発した。彼の特許が最終的に確認されたにも拘らず、特許権の広範な侵害と長期に亘る物入りな訴訟は彼から十分な経済的報酬を奪ってしまう。

伶俐なビジネスマンであった彼は最早、そこから多くを得ることが不可能であると悟り、改良された方法にのみ依存しつつ、特許化されていない物品の製造へと眼を向けた。1798年、彼は政府からマスケット銃10,000丁の契約を獲得し、ニュー・ヘヴンの街はずれに一工場を建設し、そこで互換性生産の基礎を固めた。リミット・ゲージ、フライス盤(図 I-12-1)および簡素な治具を用い、彼は銃器が工作機械によって旧来の手工的方式によるよりも互換性を有するのみならずより安価に製造され得ることを証明した。

図 I-12-1 Eli Whitney が 1818 年頃製作した恐らく世界初のフライス盤

¹⁷ Niles-Bement-Pond Co.は一時期、P&Wまで傘下に収めたが、大恐慌前後からブランド名を残しつつ頻繁な合従連衡を繰り返し、戦後廃絶。



Roe, Fig.4.

ほぼ同時期、コネチカット州ミドルタウンの銃器製造家 Simeon North は政府との間にピストルに関する契約を締結し、それは爾後、50年間、継続することとなる。後々、1813年に彼がサインした契約はその第一項で互換性について明記している。即ち、“ピストルの構成部品は1丁のピストルの部材ないし部品が他のピストル20,000丁の何れに対しても適合するよう厳密に対応せしめられるべきこと”。

Whitney 自身の手紙類や政府の監督官であった Wadsworth 大尉の報告書類によって Whitney が少なくともそのアイデアを“一番初め”，つまり1798年から展開していた事実は明瞭に示されているのであるから、1813年の North の契約が新たな方式の始まりと言うよりも既に実在していたそれに対する認証であったと考えて大過無い。Whitney は恐らく先行していたものの、North がそれほど後れを取っていたワケでないことは確かである。

この二人が互いを知っていた、あるいは何らかの交流を持ったことを示す証拠は無い。しかし、近接業種に属し、20マイルしか離れていなかった二人の製造家がそれぞれの仕事に多かれ少なかれ親しみを抱き、互いの製造方式によって影響され合っていなかったということはありそうもないと思われる。実りある製造プロセスとしての互換性システムが二人の男たちの仕事の中から誕生したことは確かである。

何れがより大きな影響力を有したかについて疑問の余地は無い。Whitney は既に彼の繰り綿機によって著名となっており、より大きな産業集積地に立地し、このシステムを他所に拡める点で North より多くのことをなしている。彼が創始した銃器製造会社は90年間その事業を継続した後、Winchester Repeating Arms Co.へと売却された。

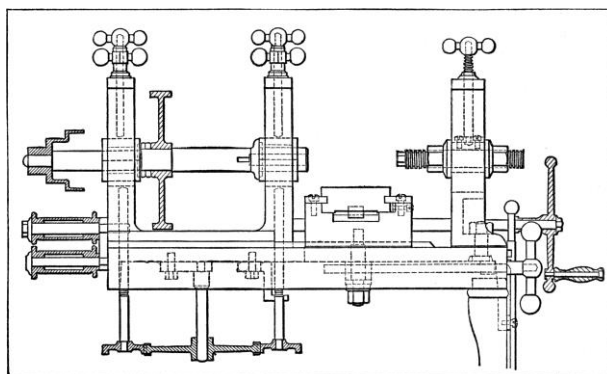
Samuel Colt が初めて手にしたピストルは Whitney Arms Co.製であったし、50年代初期、彼が Colt 銃器会社設立を目的としてハートフォードに赴いた際、彼は Whitney Arms Co.の製造方式を採用しただけでなく、それを大幅に拡充している。新工場とその多くの機械類は E.K. Root によって設計された。1400台を超える機械、前代未聞の比率をなす機械自体とほぼ同額の費用を投じた工具と治具とを擁するそれは疑いもなく、当時存在する最も進歩した製造工場であった。Pratt & Whitney Inc.を創設する F.A. Pratt と Amos Whitney, Billings & Spencer Co.を創設する Charles E. Billings と C.M. Spencer, Hartford

Machine Screw の創設者、George A. Fairfield を含む多くの名だたる機械工がそこで働いた。

13. 北部ニュー・イングランドにおける工作機械の歴史

初期の銃器工場の中でも3社がその広範な影響力において傑出していた。Whitney と Colt の銃器会社はその内の2社で、第3は Colt 銃器会社より数年早く創業されたバーモント州ウィンザーの Robbins & Lawrence のそれである。それは1853年のイギリス使節団が訪れた工場の一つであり、エンフィールドで据付けられた多くの機械類を保有していた。R.S. Lawrence, Frederick W. Howe および Henry D. Stone の業績によってそれは広く認知されていた。Lawrence は叩き上げの機械工であり天性の銃器製造家であった。Howe はノース・チェルムスフォードの由緒ある Gay & Silver 工場で年季を終え、そこで生産フライス盤の典型で単能的で同一加工の大量リピートに適した平型フライス盤であるリンカン型フライス盤とタレット旋盤の端緒をもたらした。図 I-13-1 にリンカン型の前駆形態をなす Robbins & Lawrence フライス盤を示す。この図は1853年頃の F. W. Howe による図面の複製品から作成された。

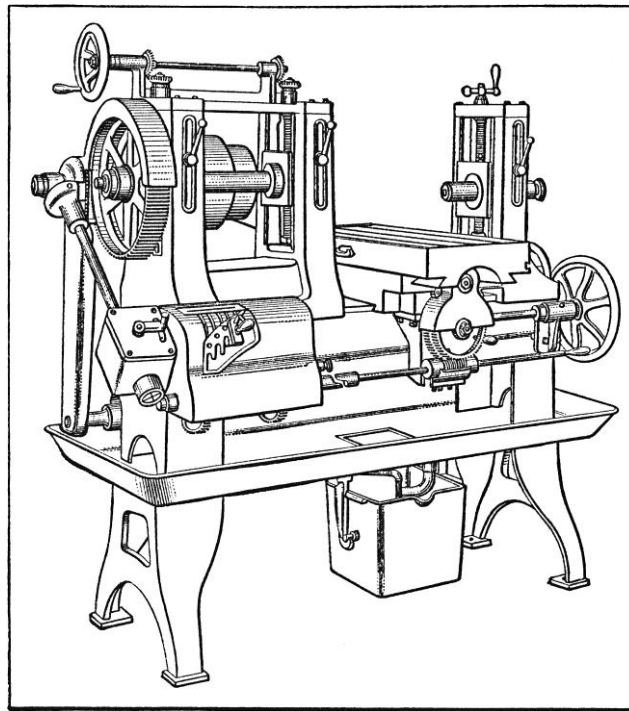
図 I-13-1 Robbins & Lawrence フライス盤



Roe, Fig.5.

図 I-13-1 に示した機械とリンカン型フライス盤とを区別する F.A. Pratt によって導入された改良はテーブル駆動をラック&ピニオン式から図 I-13-2 にも見えるウォーム式へと置換えた点にある。リンカン型フライス盤は往時、アメリカのフライス盤の過半数を占めていた。それらの中には必要に応じて上述のアタッチメント類を装備されていた個体も多かったことであろう。

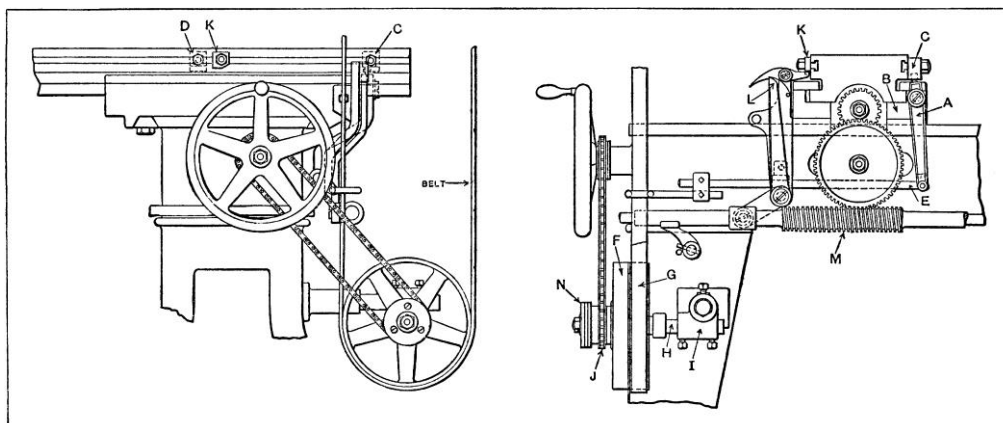
図 I-13-2 Lincoln 型フライス盤



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.395 Fig.5.

リンカン型フライス盤にはしばしばテーブルの自動早戻り機構が組込まれた(図 I-13-3). テーブルの送り長さは C, D の位置によって定められる. 送りの終端で D が L を傾ければ送りウォーム M は噛合いを離れるとともにベルトシフタ E がベルトを空転プーリ G 上から F 上にシフトさせ, スプロケットホイール J がチェーンにより送りハンドルを回して C がレバー A を傾げるまで自動早戻りを行わせる.

図 I-13-3 Lincoln 型フライス盤に組込まれた自動早戻り機構



ditto., p.396 Fig.6.

Howe は Robbins & Lawrence 工場から Providence Tool Co.の監督としてプロビデンスに移り、後には Brown & Sharpe Mfg. Co.へと転じた。Robbins & Lawrence 工場からはハートフォードの Sharp's Rifle Works が派生し、後に同社は Weed Sewing Machine Co., 更には Pope Manufacturing Co.となる。クリーブランドの White Sewing Machine Co.や Cleaveland Automatic Machine Co., そして鉱山機器を製造するニュー・ハンプシャー州クレアモントの Sullivan Machinery Co.もそこから派生した。

ウィンザーの古い工場は様々な人の手に渡ったが、永年の間、それは Henry D. Stone の監督下に置かれていた。1879 年、この会社は Jones & Lamson Machine Co.となってバーモント州スプリングフィールドへと転じ、世界の工作機械業界において有力な地位を獲得した。その最近の開発は 1889 年、監督者に昇進した平型タレット旋盤の発明者、James Hartness に負うところ大である。

互換性システムは裁縫ミシン、置時計、腕時計、タイプライター等々、他の多くの産業においても特徴的であるが、それらがこれを創始したのではない。これらの産業はより遅れて発祥し、既に存在していたシステムを活用し発展させた。銃器、とりわけ軍事目的のそれは互換性が明らかに望まれる分野で大量生産された初めての品物であったがゆえに、このシステムが銃器製造家たちによって、然るべく開発されて来たのは全く自然である。

14. フィラデルフィアにおける工作機械の発展

William Sellers と William Bement の指導性の下、フィラデルフィアは次の世代における工作機械製造における先進地となった。Bement はニュー・イングランド産の男で、他の多くの人々と同様、繊維機械の製造をその事業の出発点とした。彼は往時の Amoskeag 工場において、後にはローウェルの機械工場において指導的な労働者であった。Sellers はペンシルバニアの産で、ウィルミントン(N.C.)で職業的訓練を終え、数年間はプロビデンスの由緒ある Fairbanks, Bancroft & Co.にて監督を務めた。3年後、Bancroft 氏と共同で、彼は William Sellers & Co.(1947年、Consolidated Machine Tool Corporation に身売り。その後、技術的血脈は断絶)を設立した。アメリカにおける Sellers の業績とイギリスにおける Whitworth のそれとの間には稀に見るような平行性が存在する。いずれもが堂々たる影響力を有する最上級の機械工であり、それぞれの国においてネジを標準化させた。

Bement も Sellers も軽量より重量級の工作機械において存在感を発揮した。軽量級の工作機械は常にニュー・イングランドと結び付けられて来ている。

15. 中西部における工作機械

工作機械製造の西方への拡大は前世代における顕著な特徴であった。クリーブランドの W.R. Warner と Ambrose Sweasy はいずれもハートフォードの Pratt & Whitney Co.にて職長を務めた人物であったが、ニュー・イングランド機械工における最良の伝統を西方へと

伝えた。彼らは工作機械製造におけるアメリカ機械工の声価を拡張しただけでなく、第一級の大型望遠鏡製造家となった。

シンシナチはミシシッピ溪谷における古くからの舟運に絡んだ蒸気機関製造・修理の中心地であった。河川舟運の衰退に伴って機械工たちの関心は70年代初頭、渡り職人としてかの地を訪れた William E. Lodge の多大なる影響下、他の方面へと転換せしめられた。彼は同市の労働者に広く知れ渡る機械工組合の代表者となっていた。1880年、蓄えた千ドルを以って、彼は自らの事業を興す。彼の逸早い成功はその多くの旧友たちをして工作機械製造事業へと走らせ、それぞれ単一の機種に特化した数多くの工作機械製造家が誕生した。更に、ヨリ近年に至ってイリノイ州ロックフォード、ウィスコンシン州のミルウォーキーおよびマディソンが重要な工作機械産業集積地となった。

結論

合衆国における初期の工作機械製造業者は決して自らの所作をイギリスで開発された初期の機械のコピーに限定しなかった。治具や取付具、リミット・ゲージの産業的活用は明確にアメリカ起源のものである。Maudsley の送り台は旋盤を成り立たせたが、ニュー・イングランドの銃器製造家たちによって開発されたタレットとカム制御はそれを完全に自動化し、製造機械としてのその能力を著しく拡大させた。板落しハンマもまたハーパーズ・フェリー(W. Va.)、イリオン(N.Y.)の銃器製造家の工場および Colt の工場が開発された。中ぐり盤はイギリス、マンチェスターの Bodmer によって回転式プレーナの名の下に使用されていたと思われるが、その近代的発展はアメリカのものである。同じことは精密研削盤においても万能フライス盤においても真理である。製造工法としてのフライス削りはその発祥の地ではないアメリカにおいて大幅に拡張、洗練された。広い意味において、アメリカの偉大な貢献は自動工作機械と精密工作法の大量生産への拡張にある。本論考において与えられた工作機械の歴史に関する評論は短くはあるが発展の概要を一般的に輪郭付け、機械的進歩の興隆を示すものである。

J. W. R.

Ⅱ：レシプロ蒸気原動機の時代と工作機械

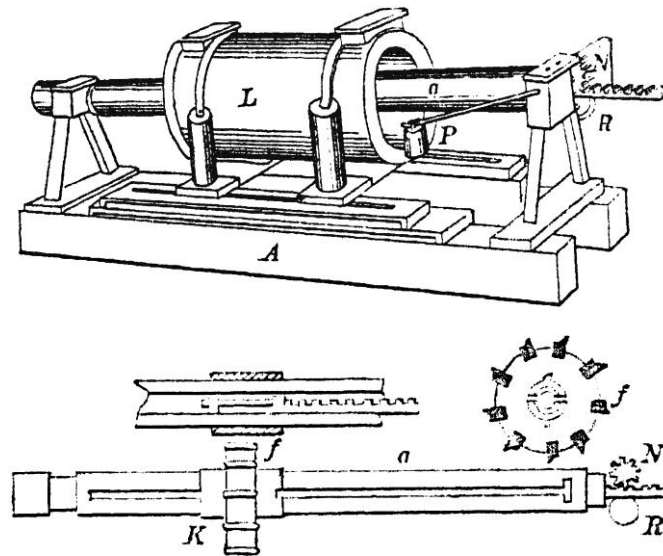
1. 重機械・船用機器

蒸気動力技術発達の初期段階においては蒸気条件は低位であり，蒸気原動機の比出力は小さく，そのサイズは出力の割に巨大であった．それゆえ，この巨大なワークの工作に供されるべき工作機械はその進化の初期段階から大形化への圧力の下に置かれざるを得なかった．これは工作機械の進化にとってもその後の動力技術革新にとっても良いことであった．

John Wilkinson(英：1728~1808)の中ぐり盤と James Watt(英，1736~1819)の蒸気機関との関係は夙に知られるところであるが，ウィルキンソンの中ぐり盤の機構についてはいま一つ明快な描写を観ぬため，やや立ち入っておきたい¹⁸．

図Ⅱ-1-1はその外観ならびに機構要部の概念図である．*a*はマンドレルでワークであるシリンダ鋳物*L*はベッド*A*上でこれと同芯にセットされている．マンドレルは中空の鉄管で，細長いスロットが180°対称の位置に2本，切られている．

図Ⅱ-1-1 Wilkinsonの中ぐり盤



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. I, p.339 Figs.811,812.

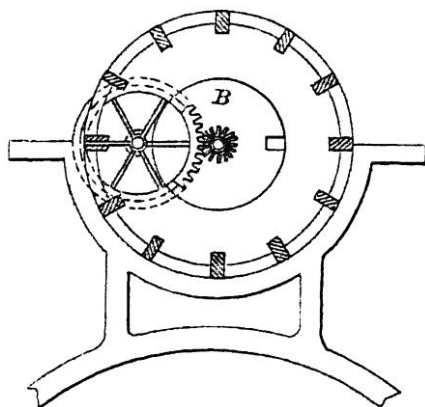
カッターはスリーブ *K*とこれにキー止めされたヘッド *f*とから構成された．*K*は *a* 上を軸方向に移動し得たが，スプラインの役割と *a* 内に仕込まれた送り用ラックとの結合金具の役割とを兼併する2本の棒状部品により *a* に対して空転は許されなかった．ヘッド *f* 外周のノッチには切削工具が嵌め込まれていた．切込は切れ刃の突出し量によって定められたようである．ヘッドに送りを与えるラックはピニオン *N*によって出し入れされた．ラッ

¹⁸ 蒸気動力技術史一般については拙稿「蒸気動力技術略史——潤滑と気密の問題に留意しつつ——」参照(→IRDB)．

クを下支えするローラー R は錘 P とテコの作用で持上げられ、ラックと N の間には常時、ゼロラッシュ噛合いが確保されていた¹⁹。

図II-1-2はBoulton and Watt 商会の技術者、George Wright によって考案された中ぐり盤の自動送り機構である。Bは約30in.(762mm)という極太の中ぐり棒で、その上を大径の時として直径10ft(3048mm)にも達するカッターヘッドがトラバースした。中ぐり棒の軸端にはピニオンが取付られ、これに噛合うギヤは送りネジの外端に取付けられていた。互いの歯数比が1:10であったとすれば、中ぐり棒の10回転につき送りネジはヘッドを1ピッチ前進させたことになる²⁰。

図II-1-2 George Wright の中ぐり盤自動送り機構



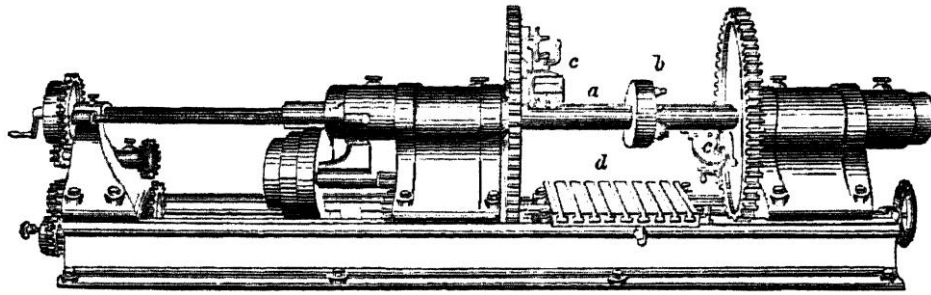
Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. I, p.339 Fig.813.

図II-1-3はWilliam Sellers & Co.の製品で、更に進化を遂げた横型シリンダ中ぐり盤の一例となっている。もとより、 a が中ぐり棒、 b がヘッドである。一对の大きな歯車の内側に取付けられている c,c はシリンダの両端部を旋削あるいは中ぐりするための独立した工具台である。

図II-1-3 Sellers シリンダ中ぐり盤の一例

¹⁹ Knight は錘 P がマンドレル a を持上げ、カッターをワーク内面に押し付けていたかのような解説を行っているが、馬鹿げた主張である。回転しないワークに対して左様なシカケを弄したとすれば、中ぐりされた空間は真円筒から逸脱し、かつ、その乖離度はテコの原理によりカッターヘッドが進むほどに大きくなってしまう。

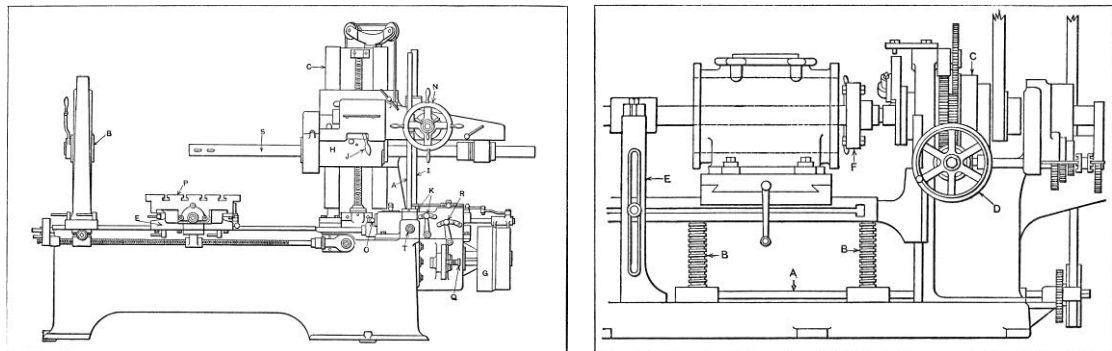
²⁰ Knight はピニオンを固定の太陽歯車、ギヤを遊星歯車と解説しているが、採らない。確かに左様な機構も成立し得なくはないが、何を好んで送り機構全体を回転させる必要があるのか？



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. I, p.670 Fig.1580.

図Ⅱ-1-4 は 20 世紀初頭のアメリカ製横中ぐり盤の 2 例を示す。左の機械の主軸は R と Q の操作による 8 段変速機を有していたが、J でバックギヤ(補助変速機)を扱えば 16 段切換え可能となっていた。

図Ⅱ-1-4 20 世紀初頭のアメリカ製主軸頭昇降式およびテーブル昇降式横中ぐり盤

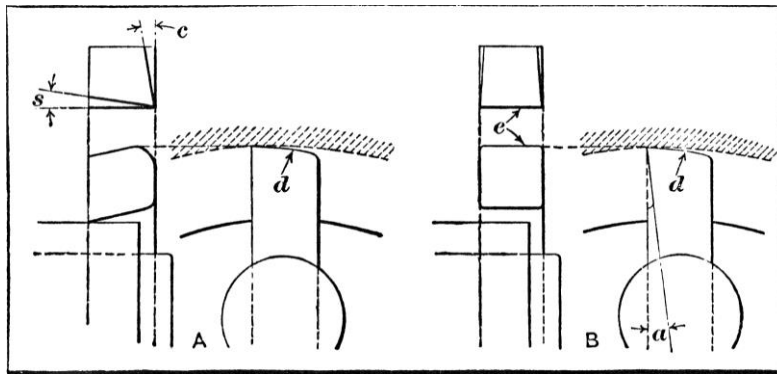


Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I, p.476 Fig.11, p.477 Fig.12.

図Ⅱ-1-4 右の機械の主軸変速は 6 段でカウンターシャフト上の変速プーリを併用すれば 12 段変速とすることも可能であった。本機は歯車機構による自動送り機構を備えていたが、ハンドル D による早送りも可能となっていた。このでのワークも蒸気機関のシリンダのようである。

重力による変形を考慮すれば、大形エンジンのシリンダは実際の運転姿勢で、即ち横型機関のそれは横型の、縦型機関のそれは縦型の中ぐり盤によって中ぐりされることが望ましく、鋳物粗形材の精度がよほど悪くない限り、中ぐりは粗 2 回に仕上げ 1 回で行われるのを常とした。粗削りには図Ⅱ-1-5 (A)のような尖り目の切れ刃を持つバイトが、軽切削となる仕上げに用いるバイトは同(B)のような広幅の送り方向に平行な切れ刃 e を持つそれが好まれ、当然ながらこちらの送りは大きく取られた。

図Ⅱ-1-5 粗中ぐり用バイト(A)と仕上げ中ぐり用バイト(B)



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I, p.460, Fig.11.

幅の広いバイトは鋳物のハードスポットに負けて押し返されるから望ましくない、尖った切れ刃を小刻みに送った際に出来るバイト痕はやがて保油性を助ける窪みとなるとの説も注力ではあったが、20世紀初めのアメリカでは幅広バイトがヨリ多くの支持を得ていた。サイクル中の最高圧力や要求される工作精度が内燃機関より低い上にシリンダ油を垂れ流すレシプロ蒸気機関のシリンダなら仕上げは切削のみで事足りた。それでも、仕上げ切削の途中で機械を停止させるとワークと工具の冷却・収縮により加工面に微小な段差を生じてしまうため、中ぐり盤には専用の動力供給系統を配備することが求められていた²¹。

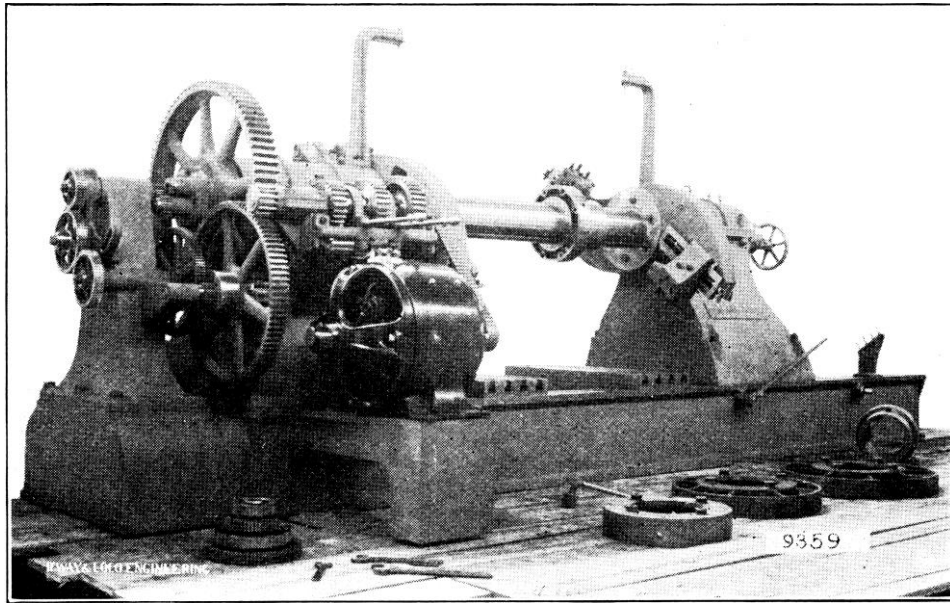
中ぐり棒を両端で支持するタイプの横中ぐり盤は縦型機関のクランク室下面やベッド上面への主軸受サドル部、あるいはタービン・ケーシングのグランド軸受サドル部におけるような精確に芯の出た半孔を間隔を空けて中ぐりする工作(line boring)にも威力を発揮することになる。

図 II-1-6 はやや 20 世紀初期に Niles Tool Works Co.(米 : Niles-Bement-Pond Co.の一構成要素)によって造られていた Bullock 製電動機による間接単独運転型シリンダ中ぐり盤で、駆動は Renold サイレント・チェーンによっていた。中ぐり棒径は 10in.(254φ), 最大加工ワークは直径 37in.(939.8mm), 長さ 60in.(1524mm)であった。

図 II-1-6 Niles Tool Works(米)製電動機間接単独運転型シリンダ中ぐり盤

²¹ cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement.*, Vol. I, pp.478~479.

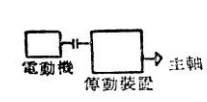
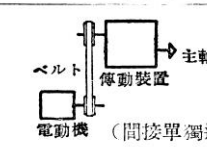
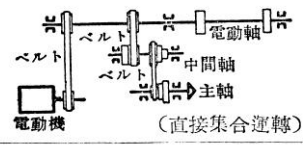
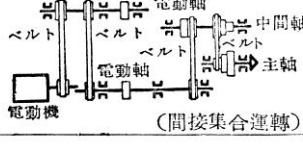
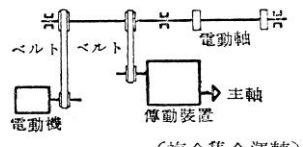
機械加工途中の停止がロクな結果を招かぬことは普遍の道理である。新幹線電車の車軸ジャーナル研削中に停電を生じ、ワーク(と研削液の供給と?)が停止した後にも砥石車が惰力で回り続けたため、摩擦熱により高周波焼入れ部がナマされてしまい、車軸の疲労強度低下と折損を招いた一件は余りにも有名である。中村 宏『新幹線車軸の安全の研究』永田文昌堂、2004年、24、30~31、62~63、106~113頁、参照。



from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.385.

なお、当時、電動機による工作機械の駆動様式には直結単独運転や間接単独運転のほか、幾つもの様式があった。参考としてこれに係わる分類を引いておく(図Ⅱ-1-7)。

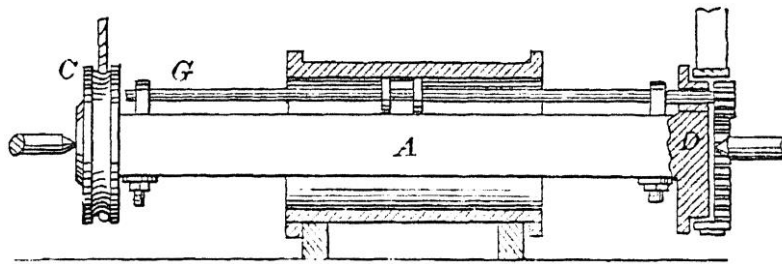
図Ⅱ-1-7 電動機による工作機械の各種駆動様式

組	例	駆動装置の略圖
1	單獨駆動 電動機は駆動齒 車箱に直結せ られる 中間ベルトを有 さず	 (直結單獨運轉)
2	中間ベルトによ る單獨駆動 1個の中間ベル トを有する場 合	 (間接單獨運轉)
3	定速ベルト車に よる駆動 2個の中間ベル トを有する場 合	 (直接集合運轉)
4	ベルト段車によ る駆動 3個の中間ベル トを有する場 合	 (間接集合運轉)
5	1個の電動機に て駆動される 多数の定速ベル ト車による 駆動 4個の中間ベル トを有する場 合	 (複合集合運轉)

G., Schlesinger/森 佐一郎・若林鐵生・鈴木 仁譯『工作機械』第一卷 講義編 I, コロナ社, 1941年, 113頁, 第170圖.

中ぐりを終えたシリンダはその内面を内面研削盤(internal grinding machine)によって研削仕上げされ, その表面粗度を高められることが望ましい. もっとも, シリンダ内面研削の嚙矢がどのあたりにあったのかについては管見の限りではない. 図II-1-8は19世紀後半に用いられていた内面, あるいはむしろシリンダ研削盤(cylinder grinding machine)の概念図である. 研削盤とは言い条, その実態は大形旋盤用のアタッチメントであった. ワークはその往復台に拘束されてベッド上を往復動する. *A* は両センター支持されたマンドレルで右端にヘッド *D* を有し, 左端に見えるプーリ *C* によって駆動された. *D* の右側に位置する大齒車は回転しない太陽齒車となっており, マンドレル *A* が回転すれば *G* の右端で太陽齒車に嚙合っている遊星齒車は増速駆動され, 砥石車を高速回転させる.

図II-1-8 シリンダ研削盤ないしアタッチメントの概念

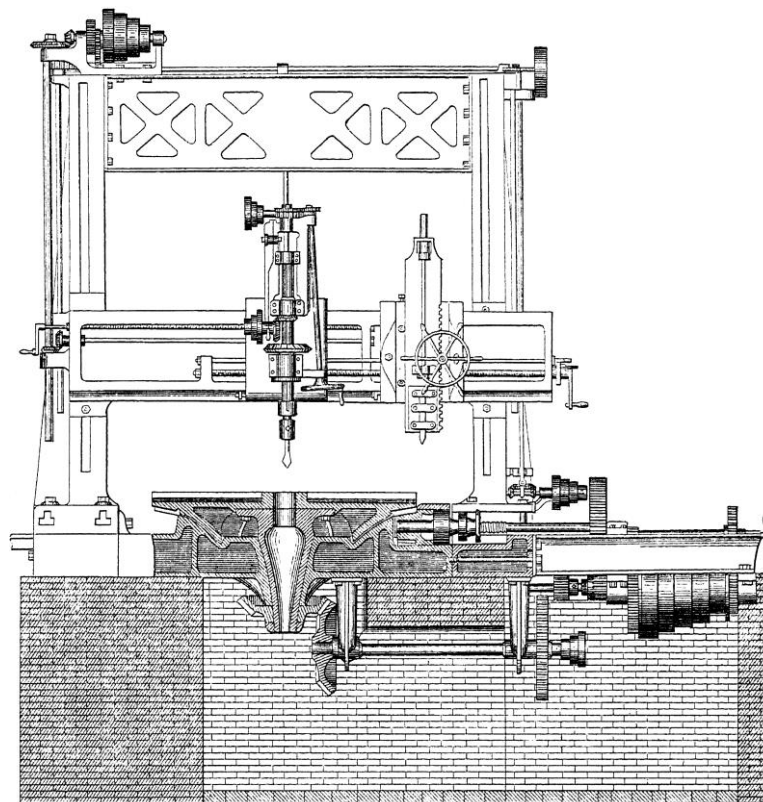


Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. I , p.671 Fig.1582.

切込や摩耗・修正した砥石車の迫込み量は *G* を支持するボルトで加減したものと想われる。当然ながらベッドの案内面を砥粒で損傷せぬような配慮は講じられていたことであろう。

大物加工の花形のいま一つは堅旋盤であった。図 II-1-9 にアメリカボストンの海軍工廠据付の堅旋盤を示す。これは 19 世紀後半に実用されていた最大級の堅旋盤である。当時、堅旋盤は *Boring and Turning Mill* の名とともに *Horizontal Lathe* なる称号を献じられており、本機もそのように呼ばれていた。

図 II-1-9 19 世紀後半に実用されていた最大級の堅旋盤(Horizontal Lathe)

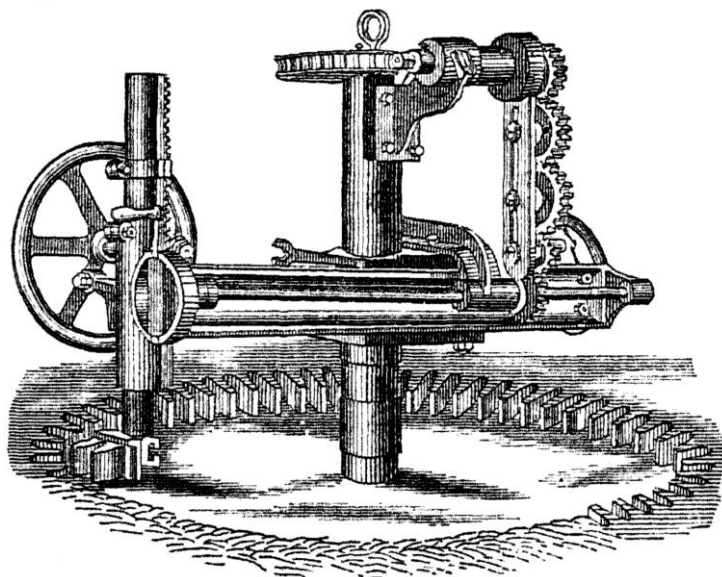


Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. II , p.1121 Fig.2562.

本機の自重 5.9t のテーブル上で加工可能なワークの最大径はコラムをテーブルに最接近させた場合 12ft(3657.6mm), 最も離れた場合 24ft(7315.2mm)となっており, これはモニター艦(重装甲の小形甲鉄艦)の砲塔を丸ごと載せて工作可能なサイズに相当した. テーブルの回転は 20 段変速となっており, 5 段々車の直径は 17~34in.(431.8~863.6mm)であった. 横桁上には旋削・中ぐりヘッドと並んでドリリングヘッドが 1 個供えられており, そのスピンドル径は 4 1/2 in.(114.3mm), 横桁から見た垂直の送りは 18in.(457.2mm)に達した.

図 II-1-9 の堅旋盤には多くの歯車が用いられている. 往時, 大形の歯車や軽負荷の小形歯車は鋳鉄で吹かれていた. 高負荷ないし高衝撃荷重を受ける歯車の材料は鋳鉄から鋼へと推転した. この場合, 丸棒や鍛造粗形材からの削り出しが量産規模に応じて選択され, また, 時代が下れば鋳鋼が選好されるケースも出現した. ここでは件の堅旋盤にことよせて 19 世紀後半に用いられていた大形歯車鋳造用砂型造型機の姿を引いておく(図 II-1-10).

図 II-1-10 19 世紀後半の大形歯車鋳造用砂型造型機



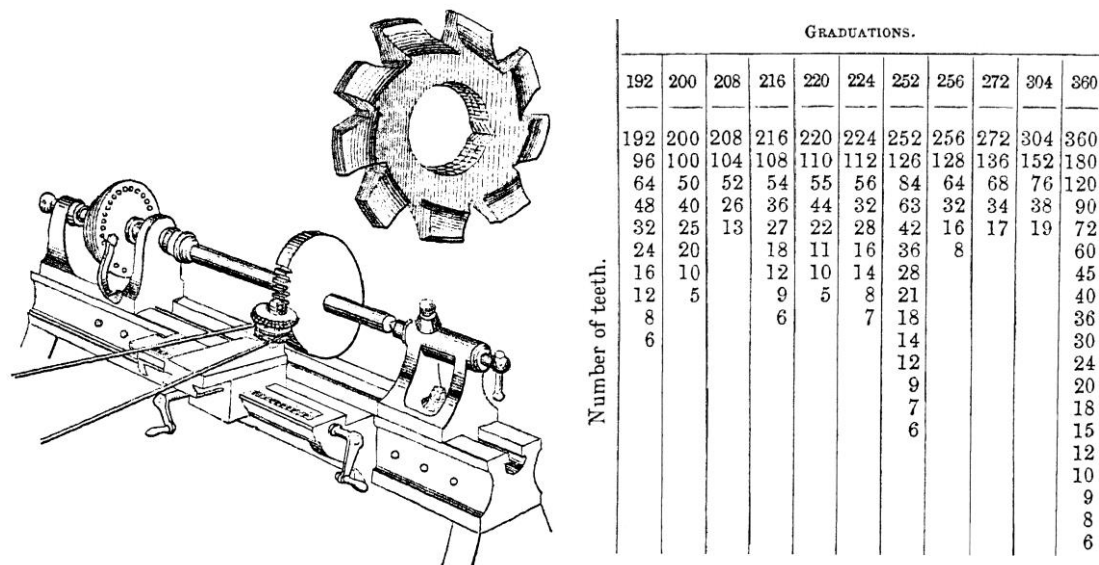
Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. II, p.1468 Fig.3202.

勿論, その型を反転させればこの造型機は内歯車の砂型造型にも適用され得たはずである. また, 小さな歯車なら木型が, 量産品なら金属製のマスター型が用いられていたであろう. やがては自動車工業の成長とともに歯車の小形・高強度化が志向され, 特殊鋼の採用や熱処理技術が発展することになる.

よほど初期の鋳放し歯車を別とすれば, 歯車ブランクないし粗形材は噛合い効率を高め, その寿命を延ばすために歯面を切削仕上げされる. これを歯切りと称するが, 本格的な歯切り盤が登場し普及する一つ前の世紀転換期頃まで, 歯切りという特殊な機械加工は今様に表現すれば総形フライスに相当する回転式カッタによって担われていた. もっとも,

Maudslay の発明になる総形フライス式の平歯車歯切り盤は図 II-1-11 左に示されるようなシンプルを極める機械で、到底、フライス盤などと呼ぶ気を起こさせぬシロモノであった。

図 II-1-11 Maudslay の Gear-Cutting Machine

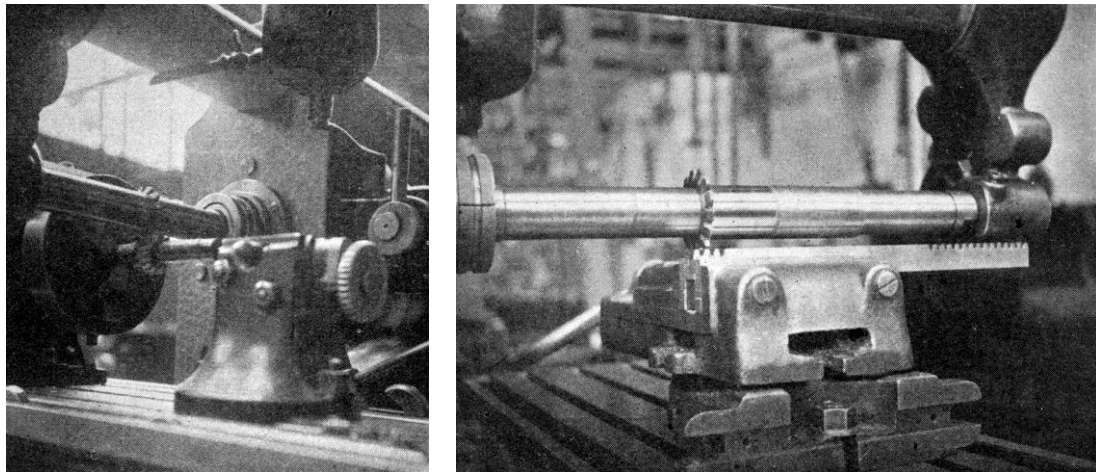


Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. II, p.960 Fig.2205.

歯型は Knight の書によれば図 II-1-11 右に表示されている通り 11 に等級区分されており、それぞれについて、5~19 の歯数のカッタが用意されていた。総形フライスを用いる工法は 20 世紀に至っても少量生産の歯車製作に実用され続けた技術である。勿論、20 世紀には歯切り機械としてフライス盤が使用されるようになっていたし、フライス盤に直線送り機構を組込んでラックの歯切りも行われていた(図 II-1-12)²²。

図 II-1-12 平型フライス盤による平歯車およびラックの歯切り

²² 図 II-1-12 右に見えているラックの歯形が台形なのはヤツツケ仕事だからではない。ラックの歯形は台形となるのが正しい。これはピッチ円直径が無限大の円筒歯車であるラックに適合するよう、その歯形のインボリュート曲線を描く際の基礎円直径を無限大とすると、インボリュート曲線が直線になってしまうからである。実際のラックはピニオンとの干渉を、また、ラックを歯切り工具(ラックカッター→後掲図 VI-3-1)として使用する場合には歯車の切下げを、それぞれ避けるため、刃先のカドを丸められることがある。



Lord Montagu of Beaulieu and M.,W., Bourdon, *Cars and Motor-Cycles*. Vol.III, p.1096 Fig.90, p.1098 Fig.94.

さて、図Ⅱ-1-9の堅旋盤においては傘歯車が枢要な位置を占めている。傘歯車は厚み無限小で直径に無段階の勾配を付与された相似形の平歯車を球面にプレスした上で無数に積層したモノに近似されるから、その歯形も円すいの頂点(歯車の小径)側と底面(同じく大径)側とで幾何学的に相似となっていなければならない。しかし、インボリュートの総形フライスを用いてかような要求を充足することは不可能であった。仮令、小端に向って切込みを浅くし行っても、それは歯形曲線の一部を使う格好になるだけのコトで、歯形は決して相似形にはならぬからである。

歯切り盤自体が専用工作機と呼ばれるべき機械である中で、わけても厄介な傘歯車の歯切りに特化した歯切り盤が登場する以前、総形フライスを用いる傘歯車の歯切りは次のようにしてなされていた。先ず、総形フライスとしては頂点側の小さなピッチに対応する平歯車用の対応物よりも薄いモノが使用された。それらは20世紀初めのアメリカにおいては表Ⅱ-1-1のように8つに等級区分されていた。

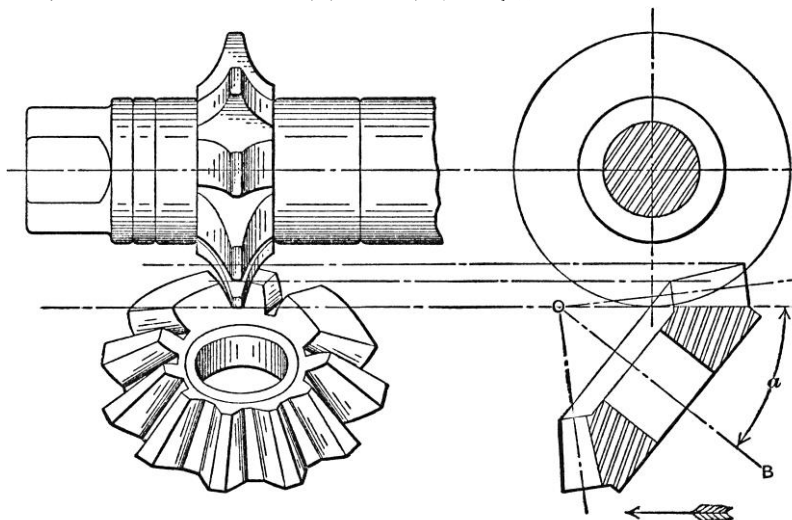
表Ⅱ-1-1 20世紀初期、アメリカの傘歯車用インボリュート総形フライス(圧力角 14.5°)

Number of Cutter	Number of Teeth for which Cutter is Used	Number of Cutter	Number of Teeth for which Cutter is Used
1	From 135 to a rack	5	From 21 to 25
2	From 55 to 134	6	From 17 to 20
3	From 35 to 54	7	From 14 to 16
4	From 26 to 34	8	From 12 to 13

from *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. N.Y., 1929, Vol. I, p.359.

この総形フライスと歯車ブランクとは図Ⅱ-1-13のようなオフセットされた位置関係に置かれ、ブランクは矢印の方向に送られた。即ち、実体図において総形フライスの右側面は切られるべき歯溝の右側面を頂点側から削り込んで行く。図例されたフライスの両側面形状は頂点側に切られるべき歯型曲線に合致しており、その先端幅は小端部歯溝の底幅より若干、小さめに設定されていた²³。

図Ⅱ-1-13 総形フライスによる傘歯車の歯切り状況



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.III, p.348 Fig.24.

続いて総形フライスをわずかに左シフトさせ、同じ歯溝の左側面を総形フライスの左側面で同じように削り出す。シフト量は経験的に大径部ピッチ円における歯厚の5~6%とされていた²⁴。

これではしかし、当然のことながら歯底面は平行な面となって大径側の歯厚は過大化し、その歯形は所望の相似形から逸脱してしまう。そこで、厚過ぎる部位をヤスリで削るという粗野な修正が施された。後は使用過程で当りが付くことに任せたワケである。歯幅の狭い傘歯車ならこれでも別条はなかった。そして、かような手口で製造された傘歯車は工作機械のみならず、ひと頃は工場の動力分配にも多用されていた²⁵。

もう少しマシな手順によれば、歯溝の両側の歯面を粗・仕上げ切削した後、歯厚ノギスなしいしゲージを当てて歯厚を測定し、割出し台(図Ⅱ-1-14 : Brown & Sharpe の単純割出し台)

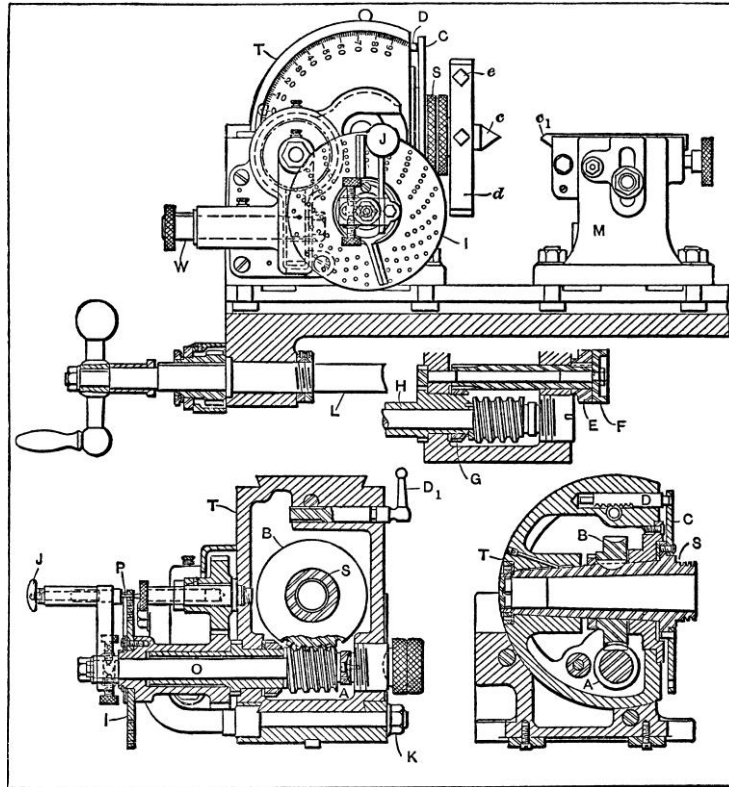
²³ 傘歯車の総形工具による切削については cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.III, pp.347~348.*

²⁴ cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.III, p.327.*

²⁵ 拙稿「工場における動力分配の古典的技術体系について」、参照(『ツールエンジニア』誌掲載の後→IRDB).

の主軸をわずかに回転させ、軽く歯切りしては測定という所作を繰返して所望の歯厚が得られた。それでも、歯先面両肩のヤスリ仕上げによる修正は必須とされた²⁶。

図Ⅱ-1-14 割出し台と心押台



Jの40回転でSは1回転する。交換可能な割出し板I上の孔にプランジヤを嵌めればSの回転はロックされた。Sの粗い割出しはプレートCとD₁→Dとで行った。ワークはc、c₁間に支持され、回し金によって駆動板dに拘束される。c₁の高さは可変で、主軸Sは水平-10°～垂直+5°までその俯仰角を変えることができ、送りネジLと軸Wとを歯車列で連動させ、更にこれをフライス盤と連動させ、ヘリカル溝を創成させることも可能であった。

Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.48 Fig.1.

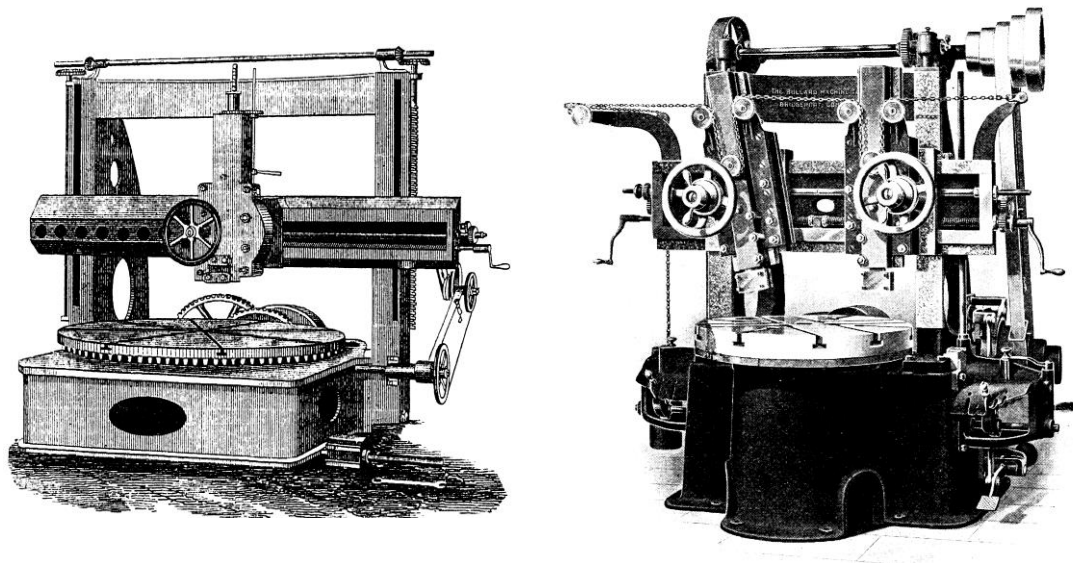
かような試行錯誤的の手口は回転カッタならぬ総形バイトを用いてプレーナやシェーパーによって傘歯車が切られる場合にも同じであった。総形フライスによる限り、この種の弥縫策は不可避であった。Gleason Works(米)の作品を典型とする本格的な傘歯車歯切り盤出現以

²⁶ 伊藤 鎮・川崎正之『機械工作法』下巻，日本機械学会，1952年，456~459頁，参照。そこでは大径側から切り込む工作法を前提とする解説が与えられている。

降の技術史については専門書に委ねるのが相当であろうが、総形フライスによる歯切り自体は今も絶滅してはいない²⁷。

堅旋盤がらみのしめくりに、図Ⅱ-1-15として19世紀後半ならびに20世紀初頭のアメリカ製堅旋盤に観る進化の姿を掲げておく。左はSellersの、右はThe Bullard Machine Tool Company(米)の製品である。

図Ⅱ-1-15 19世紀後半ならびに20世紀初頭のアメリカ製堅旋盤



左 : *Knight's American Mechanical Dictionary*. Vol.Ⅲ, p.2660.

右 : from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.398.

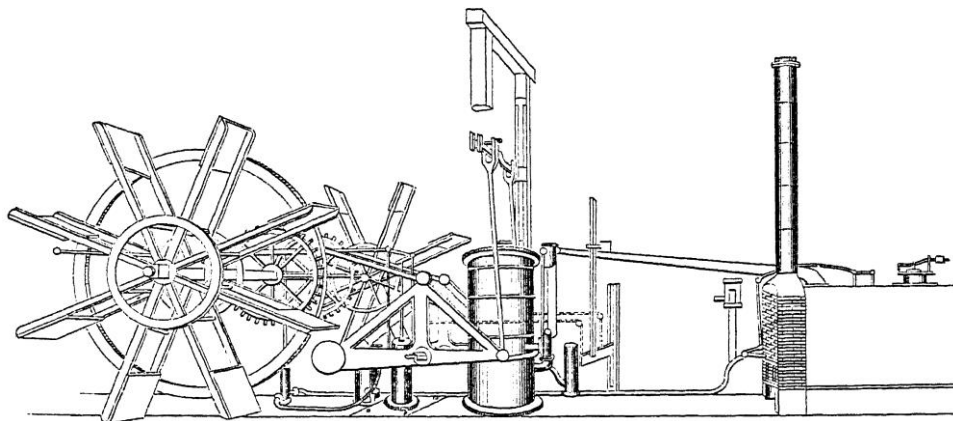
さて、蒸気動力技術の進化、蒸気条件の高度化とともに19世紀にはその適応放散が本格化する。その一つである船用蒸気動力プラントはおおむね陸用プラントの小形廉価版に当たるが、当初、機関部は外輪船に適合するという制約の中での進化を余儀なくされたがゆえに大方の陸用機関とは相当異なる形態を身に着けていた。図Ⅱ-1-16は1807年に誕生した世界初の実用汽船、Robert Fulton(米：1765~1815)の *Clermont* に装備されたプラントで、ボルトン&ワット商会製の機関は陸用ビーム機関をサイドビーム式に改めただけのモノであ

²⁷ プレーナのこの種の使用法については後述。歯車の技術史については会田俊夫『歯車の技術史』改訂版、開発社、1973年、参照。各種歯切り盤に関する解説書としては溝口良吉『歯切機械及歯切法』共立社、實用機械工学講座・工作編、1935年、参照。

独創的な歯切り盤を開発した有力メーカー、The Fellows Gear Shaper Company(米)のコンパクトながら内容豊富な社史、*50 YEARS OF PROGRESS 1896-1946*.(1946)については拙訳「Fellows Gear Shaper Companyの発展 1896-1946」、参照(『ツールエンジニア』誌掲載の後→IRDB 予定)。

った。外輪軸が低いのは *Clermont* が排水量約 80t と船容の小さな N.Y.ハドソン川用の河船であったためである。

図 II-1-16 世界初の実用汽船, *Fulton* の *Clermont* に装備された蒸気動力プラント



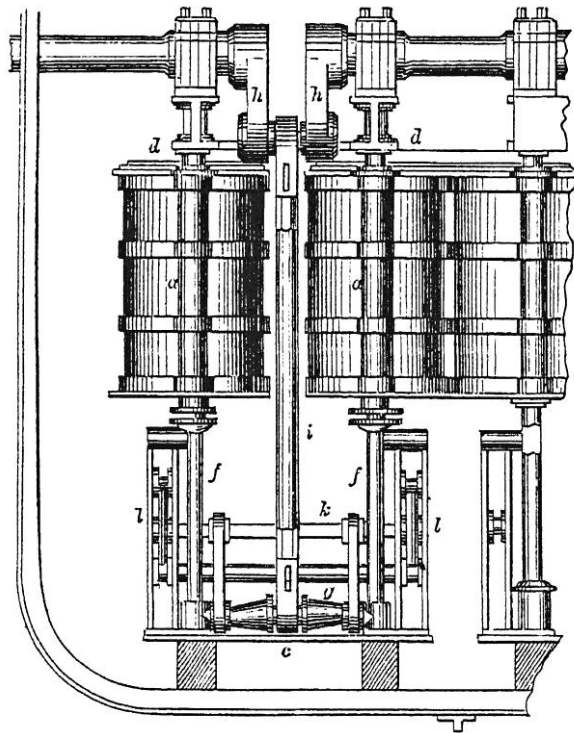
Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. II, p.1593 Fig.3475.

大形船用機関においては外輪も大径となるため、クランク軸を機関の最上位に位置させる場合が多く、中には最上位にクロスヘッド、基底部にシリンダ、その間にクランク軸というレイアウトの河船用機関(Steeple-engine)などというヌエ的存在まで存在した。steepleとは教会の尖塔の謂いである。このゲテモノ機関は蒸気機関車の父である Richard Trevithick(英: 1771~1833)らが 1802 年、彼の蒸気機関車において採用した横型のレイアウトをグラスゴーの Napier 造船所が縦型に変じて以降、船用機関界に一定の存在感を發揮するようになった。クランク軸を基底部に移し、長大なコネクティングロッドを用いる Maudsley の変形 Steeple-Engine といった亜種も現れた。要はいかなるクランク軸の高さが所望されたか、ということに尽きる²⁸。

図 II-1-17 は外輪船用蒸気機関の一つ、*Hick's Inverted Double-Cylinder Steam-Engine* の構造の一部を示した概要図である。そのクランク軸は通例に倣って外輪軸を兼ねていた。なお、ここで“倒立”など呼んでいるのはニューコメン大気圧機関以来の上を向いて開口ないしピストン棒を突き出す気筒を正立とした場合の慣わしである。本機関は 2 気筒一体式ユニットで、これでは自己起動不能であるから実際には 2 ユニットの並列し 4 気筒の形で用いられた。f はピストン棒、g はクロスヘッド(コッタ孔が見えている)、i がコネクティングロッド、h がクランクアームである。

図 II-1-17 *Hick's Inverted Double-Cylinder Steam-Engine*

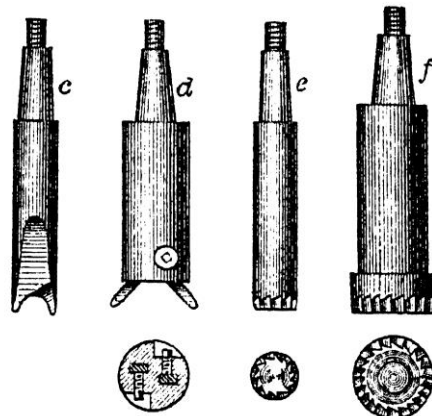
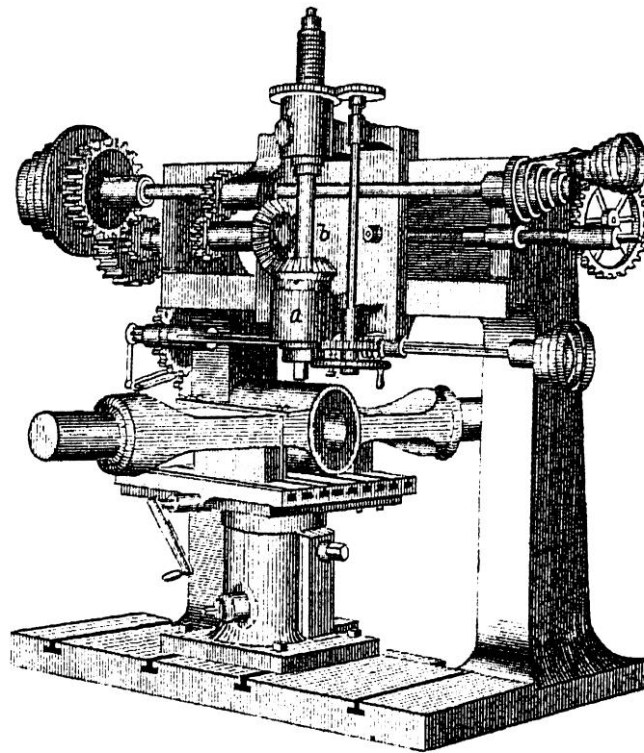
²⁸ cf., *Knight's American Mechanical Dictionary*. Vol.III, p.2371.



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. II, p.1194 Fig.2696.

図Ⅱ-1-18には同種の機関に用いられるクロスヘッド中央のボスにコネクティングロッドの端を挿入固定するためのコッタ孔を穿つスロット・ドリリングマシンとワークのセット状況が例示されている。コッタ孔であるから穿たれるのは長孔で、下の添え図はこれに用いられる穿孔用工具である。

図Ⅱ-1-18 クロスヘッドにコッタ孔を穿つためのスロット・ドリリングマシン



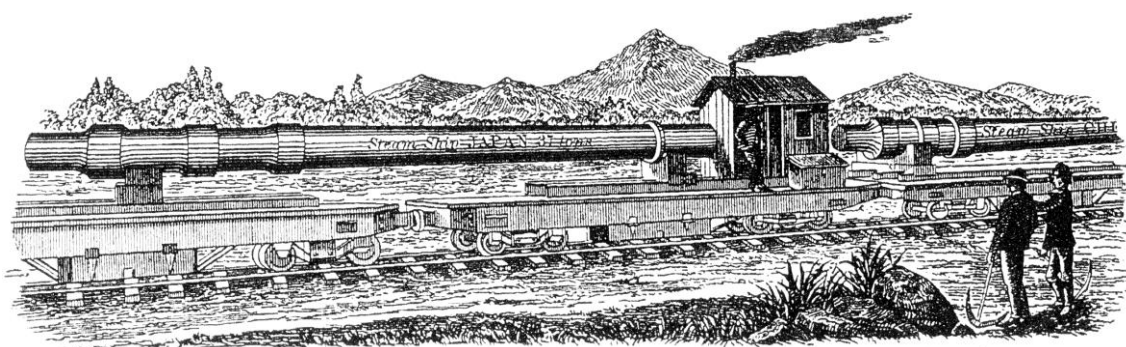
Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.2215 Fig.5207.

この工作機械の躯体は堅中ぐり盤かと思紛いかねぬの重厚さを発散しているが、ことこの長孔明けに関しては工具の逃げやワークの変形を惹起させぬよう高剛性の機械とツイストドリルではない特殊な孔明け工具との組合せを用いる軽切削の恰好で進められていたように想われる。cとfは一見、エンドミル風であるが、実質は一種のトレパニング工具を兼ねるそれであったように観える²⁹。

²⁹ トレパニング工具については追々、蒸気機関車のロッド類の工作との関連で 20 世紀初頭のアメリカで用いられていた事例を紹介する。

重機械・船用機器の締め括りとして巨大な、クランク軸からは独立した外輪軸の姿を紹介しておきたい。図Ⅱ-1-19は1860年代末期に製造された太平洋航路用1万トン級大形外輪船、Pacific Mail Steamship Companyの*Japan*および*China*の外輪軸をその製造地、マサチューセッツ州ブリッジウォーターからサンフランシスコの造船所へと鉄道輸送している光景を描いたものである。各々の重量は78520lbs.(35.6t)および68400lbs(31.0t)に達しており、長過ぎるため、それぞれが2両の4軸貨車に分載された。軸の側からすれば、枕はもう少し寄せてもらう方が無難であったように見受けられる。

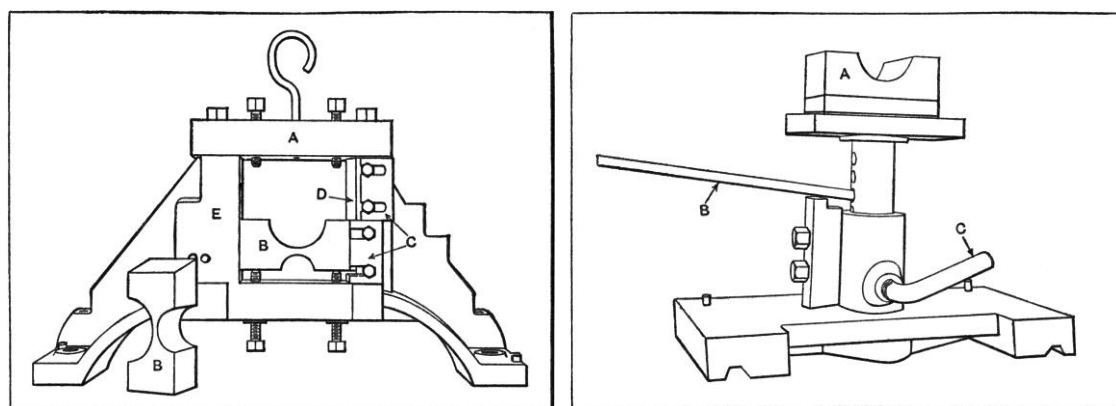
図Ⅱ-1-19 太平洋航路1万トン級外輪船*Japan*および*China*外輪軸の鉄道輸送状況



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.2126 Fig.4894.

軸物の旋削と言えば今昔を問わず旋盤の独壇場である。残念ながらこの軸を挽いた旋盤の巨軀は管見の限りとなつてはいない。しかし、かような軸を挽けたのが特に長いベッドを持つ大形旋盤ないし大形軸旋盤で、移動振れ止めやサポート(図Ⅱ-1-20)の類を多用し、低速で大きな送りをを用いて旋削したのであろうことは間違い無い。

図Ⅱ-1-20 長大軸旋削用移動振れ止めとサポート(ジャッキ)



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.340 Figs.2, 3.

運航時の外輪軸回転数は著しく低かったから、外輪軸の動的バランス、ひいてはその工作精度に対する要求がそれほど高くあり得なかったことは工作側にとってまだしも幸いであったと考えて大過なからう。やがて、船用推進機の主流は外輪からヨリ推進効率の高いスクリュウ・プロペラへと転じ、船用蒸気機関もクランク軸を下方に配置した堅型の 3~4 段膨張機関が大勢を占めるようになったが、その回転数は 100rpm を下回り、その生産技術体系も従前と大差なく、いかにも古典的な重工業のそれ、といった風情であった³⁰。

ところが、船用蒸気動力プラントの原動機がタービン化すれば、とりわけ初期の直結タービン船においてはスクリュウ回転数はレシプロ船の 2 倍前後から軍用高速艦艇においては 10 倍近くにまで達した。かくなれば推進軸の工作精度に対する要求水準はレシプロ蒸気船の場合とは比較を絶して高度化せずには済まされない。原動機の高回転・高出力化は工作精度の向上によって機関本体のみならず、その周辺からも支えられねばならなかった。これが 1 段ないし 2 段減速歯車を従えたギヤード・タービン船ともなればタービン回転数自体が数千から最大 7000rpm 超まで高速化したから、その工作は精緻を極め、かつ減速歯車の歯切りと研削にはとりわけ高度な技術が援用されなければならなくなったワケである³¹。

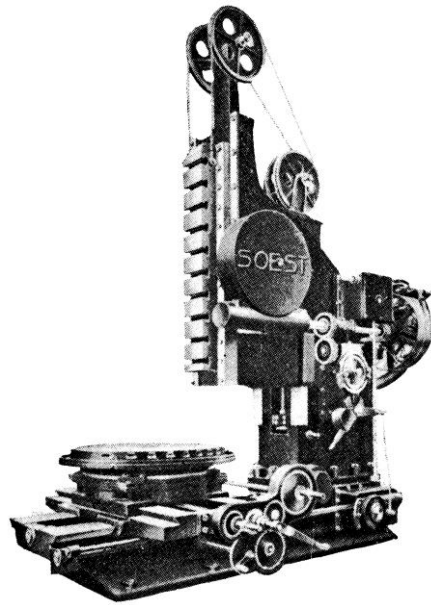
図 II-1-21 は Soest の大形スロットで、前掲図 I-10 右のそれとは異なり普通のスロットを大きくしただけのような外観であるが、重量物を天井クレーンでテーブル上に据えるにはトップビームなどない方がよほど楽である。また、本機には工具ホルダを様々な高さに設置できる工夫がなされていたらしい。メーカーロゴの SOEST は Louis Soest & Co. G.m.b.H.(ドイツ)を指していると思われる。この会社は 1939 年、同じデュッセルドルフの Schiess A.G.に吸収された³²。

図 II-1-21 Soest の大形スロット

³⁰ 蒸気動力技術の進化全般に関しては前掲拙稿「蒸気動力技術略史」を、また、堅型レシプロ船用機関の時代における造船所の生産技術体系を点描した資料として拙稿「三菱神戸造船所(1915年8月8日)——翻訳、補足的所見ならびに批判的解釈——」を挙げておく(いずれも→IRDB)。

³¹ 船用蒸気タービンの技術史に関しては拙著『船用蒸気タービン百年の航跡』ユニオンプレス、2002年、参照。減速歯車の工作については後述する。

³² cf., http://www.albert-gieseler.de/dampf_de/firmen0/firmadet706.shtml.



山口『平削盤，形削盤及堅削盤仕事』66頁，第110圖。

この参考文献の著者は本機を用いて日立製作所で長さ 2362.2mm，幅 1676.4mm，高さ 381.0mm，重量 1676.1kg という蒸気ショベル用鋳鋼製フレームの「ベアリングキャップの部」を幅 254mm，長さ 381mm にわたって削り代 9.525mm(原表記ヤードポンド法)で切削する仕事を，最初の取付から仕上りまで「僅かに 4 時間にて」済ませた，と記している。同時代なら，とうに蒸気ショベルの時代は過ぎ去っていたはずであるが……。

また，彼は「我國に於きましても鐵道省の工場邊では，随分高能率に作業を行つて居ります」とも述べている。知りたいのは一体何の工作に，という点であるが，ワークは後述の機関車動軸箱であったのかも知れない。

2. 蒸気機関車

1. 蒸気機関車の進化

続いて，その鐵道に，即ち蒸気機関の適応放散における今一つの重要領域をなす蒸気機関車に視線を転じよう。機関士が **Engine Driver** の訳語であるように，**Engine** という語には機関車の意味もある。その蒸気機関車はおおむねレシプロ，単式(1 段膨張)，不凝結で 1 段再生を行うかどうかという最下級の蒸気動力プラントに属する。そのボイラは平面構成部材が目立つ煙管ボイラにほぼ限定され，その蒸気条件は陸船用ボイラに比して著しく低位に推移した。蒸気機関車は最も構造簡易である反面，ボイラの例外的に高い燃焼率(→多大の熱損失)と引換えに占有空間・重量当り出力が極度に大きく制御性に富む蒸気動力プラントとして進化を遂げた。もっとも，その生産技術について情報量が多いのは，当然ながら，黎明期の蒸気機関車ではなく，近代的な，言い換えれば成熟期のそれについてである。

例に採るのは主としてイギリス，副次的にアメリカおよび鐵道省における事蹟である．イギリス製機關車と言え，わが一号機關車をはじめ，多くの国々に輸出される存在ではあったが，イギリスの輸出機關車メーカーは国内の一流鐵道会社には相手にされぬ存在であった．なぜなら，Great Western 鐵道をはじめ，イギリスの第一級鐵道は自社で機關車を開発・製造していたからである．工場では材料メーカーから購入された素材や自由鍛造粗形材を用いて鑄物部品やロッド類からひかえ扣(ステイ：後述)をはじめとする特殊なボルト，ナットなどに至る大小の鍛鋼部品までを内作し，車両を組立ていた．

往時の鐵道車両製造業においては特殊鋼材の使用は控えられることが普通で，鋼材としてはもっぱら炭素鋼が愛好されていた．これは保守性の現れである以上に，鐵道車両においては運用現場に近いところでの事故対応修理求められることが稀ではなかったためである．炭素鋼なら熱処理を行う場合でも特殊鋼におけるように条件がやかましく，これを外せば機械的性質に豹変を来してしまうワケではなく，工場や場合によっては機關区で部品の曲りを修正したり，丸ごと即製してしまうことが容易であった．

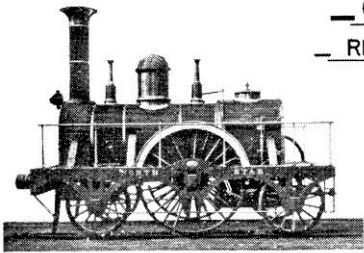
G.W.鐵道の主力機關車はその Swindon 工場で製造されていた．有力鐵道会社は自らの作品にもその製造技術にも誇りを持っており，多くの製造に係わる情報を提供していた³³．

図 II-2-1 は G.W.鐵道における急行旅客用機關車の進歩を象徴的に例示したものである．蒸氣機關車發達の初期段階においては最下段の King 級のようなサイドロッドによって複数の動輪のクランクピンを連結する連結動輪方式では高速運転時にロッドが同調運動を逸脱し，文字通り足がもつれて破壊に至るとの危惧が抱かれていた．このため，こと急行旅客用機關車においては動軸を 1 本だけ有するシングル・ドライバーが永らく愛好された．その間，最大速度向上のため，シングル・ドライバーの動輪は次第に大径化して行き，図の中段の例ではこれが 8ft(2438mm)にも達した．

図 II-2-1 Great Western 鐵道における急行旅客用機關車の進化

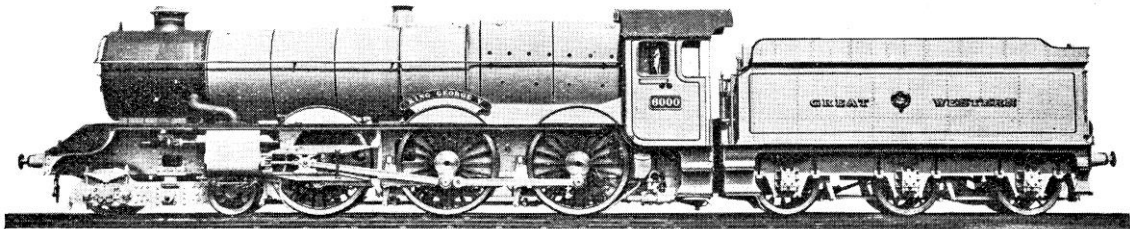
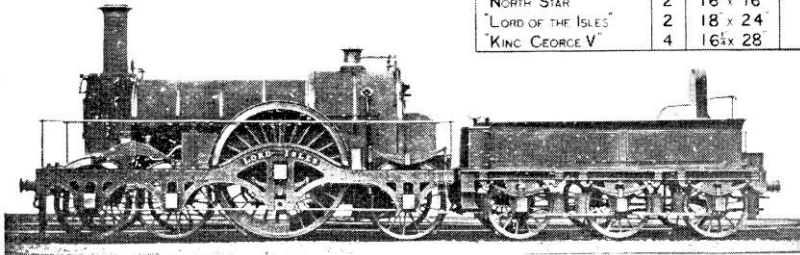
³³ 以下に関しては全体の流れを W.G., Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. The Great Western Railway, London, 1928, に依拠する．

— C. W. R. LOCOMOTIVES —
— REPRODUCED TO THE SAME SCALE —



"NORTH STAR" ----- AS CONSTRUCTED BY R. STEPHENSON & CO. IN 1837.
 "LORD OF THE ISLES" ----- BUILT BY C. W. R. CO. AT SWINDON IN 1851.
 "KING GEORGE V" ----- DO. DO. DO. DO. DO. 1927.

ENGINE	CYLINDERS		DRIVING WHEELS	BOILER PRESSURE	TRACTION EFFORT AT 85% BOILER PRESSURE
	Nº	DIMENSIONS			
"NORTH STAR"	2	16 x 16	7'-0"	50 LBS. ²	2070 LBS.
"LORD OF THE ISLES"	2	18 x 24	8'-0"	140 "	9640 "
"KING GEORGE V"	4	16½ x 28	6'-6"	250 "	40300 "



from, W.,G., Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.105.

(活字に癖があり G と C との区別が無いように見えている)

やがて、貨物用低速機関車での実績を通じて連結動輪方式に対する懸念は徐々に払拭され、時代は2動軸、3動軸を有する急行旅客用機関車を求めるようになる。ここで重要なのは、動力車における牽引力発生点は軌条面に、牽引負荷の作用点は連結器中心にそれぞれ位置することである。双方の落差ゆえに、列車牽き出し時、機関車は後ろ髪を引かれ、動軸群にかかる重量は後部へと移動する。連結動輪式の蒸気機関車においてはこの軸重移動が生じても前方動輪は空転せず、後方動輪の粘着重量が増すため牽引力も低下しない(この際、軌条側の負担は局所的に甚大化)。各動軸を電動機などで個別駆動する車両においては各軸制御の工夫がなされぬ限り軸重移動に伴う空転回避策は不十分となる。蒸気機関車は連結動輪というごく簡単な機構で特段の制御装置もなしに高い実用性能を発揮する機械として発達した。

図II-2-1の最下段、1927年6月に就役した初号機 *King George V* を嚆矢とする 6000 型 = King 級はその一極致であり、イギリスにおける単式4気筒急行旅客用機関車の一典型となる作品であった。図II-2-2に観るように、4つのシリンダは台枠の外側に左右各1つ、その内側にワンブロックの形で2つ、配置されていた。台枠は陸船用機関の ^{フレーム} フレームと ^{ベッド} ベッドに相当する部品である。

図 II-2-2 組立中の King 級単式 4 気筒機関車



from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.44.

蒸気機関車は車両限界の中でひたすら長大化して行ったから、従輪が無く狭火室を持つ King 級を中途半端で古臭い存在のように観る向きもあるだろうが、高品質の石炭を焚くことが可能であった GW 鉄道において広火室は必須ではなく、King 級のパワーは充分であった。また、従輪を欠く設計には牽き出し時の軸重移動が粘着重量の損失とならぬという大きな利点が伴った。

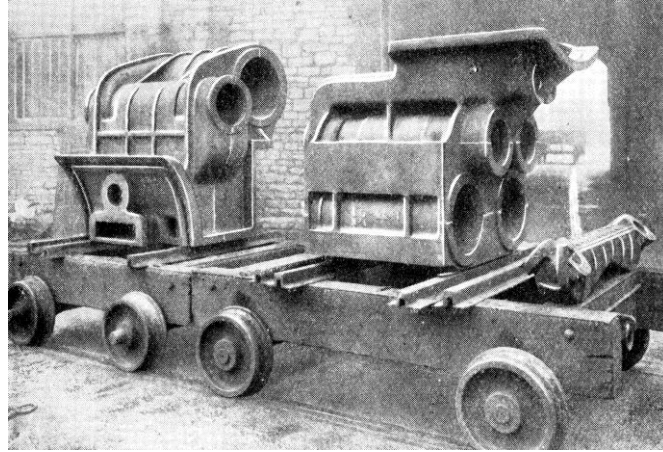
このため、King 級は 1962 年まで全機 30 両が急勾配線区や優等列車牽引に活躍した。現在もその生誕の地に静態保存されている *King George V* は古典的工作機械におけると同様、蒸気機関車の本質的技術進歩が大恐慌以前にほぼ完結していたことを示す歴史の生き証人でもある。

2. 蒸気機関車の製造工程

1) シリンダ関係の機械加工

King 級機関車の気筒配置に触れた行きがかり上、Swindon で吹かれた鑄鉄製シリンダブロック(図 II-2-3)とその機械加工から観て行こう。

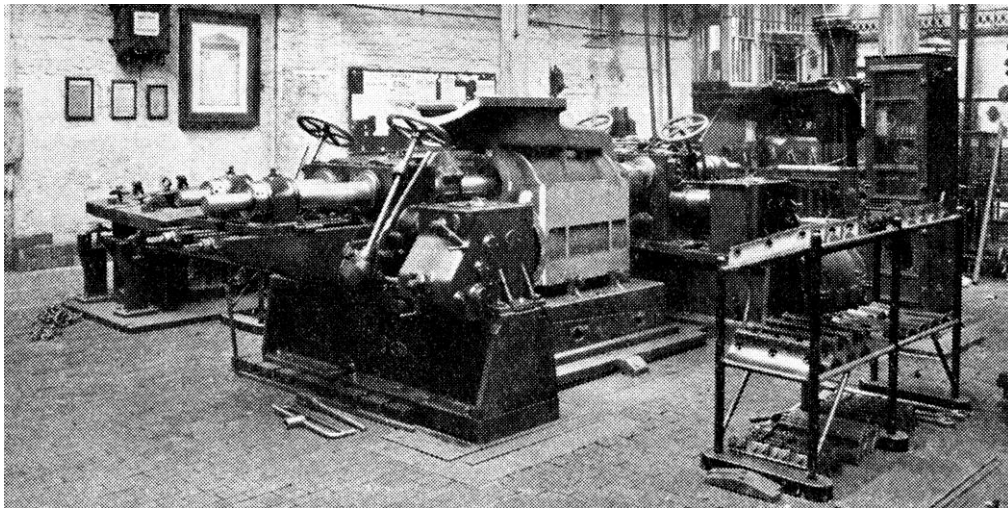
図 II-2-3 King 級機関車の内側シリンダ(右)と外側シリンダ(左)各 1 個の鑄鉄粗形材



from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.46.

図Ⅱ-2-4は King 級機関車の内側シリンダ粗形材における蒸気室(ピストン弁がその中を摺動するブシュを収容する円筒空間)が専用機によって中ぐりされている状況を示す。見えてはいないが、気筒ブシュ孔の中ぐりも同時に行われていた。4つの孔が一度に中ぐりされていたワケである。機関車の型式によって蒸気室ブシュやシリンダの直径、それらのレイアウトもことなるため、写真の機械は中ぐり棒アライメントの可撓機構を備えていたと思われる。

図Ⅱ-2-4 King 級機関車内側シリンダ粗形材の蒸気室中ぐり状況



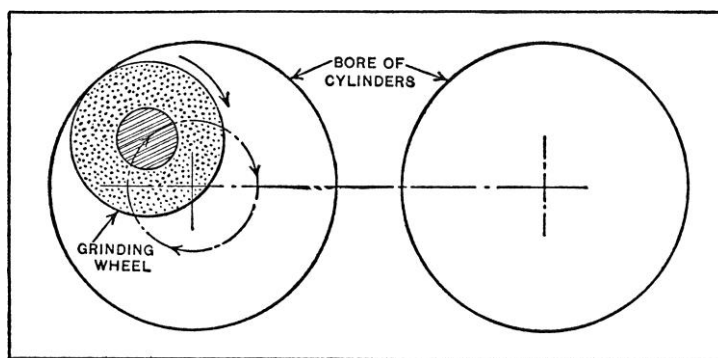
from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.47.

中ぐり後、孔に収められたブシュは大形の研削盤(large grinding machine)によって仕上げられた。これは作業物質たる水はおろかシリンダ油まで循環させぬ上、発進の都度、勇ましく初復水を駆出する(ドレインを切る)がゆえにシリンダの初期摩耗による金属粉の影響を恐

れる謂れのない蒸気機関の製造工程としては丁寧な手口であった。アメリカ流なら中ぐり仕上げで終りであった。

もつとも、Swindon で用いられた機械についての情報は目下のところ得られていないため、埋め合せに同時代のドイツで製造されていた比較的大きなプラネタリ式のシリンダ中ぐり盤を紹介しておきたい。先ず、図Ⅱ-2-5 にプラネタリ研削の概念を示す。砥石車の自公転運動によって円筒の内面が研削されるのがプラネタリ研削である。この時、ワークは一般に、固定されている。

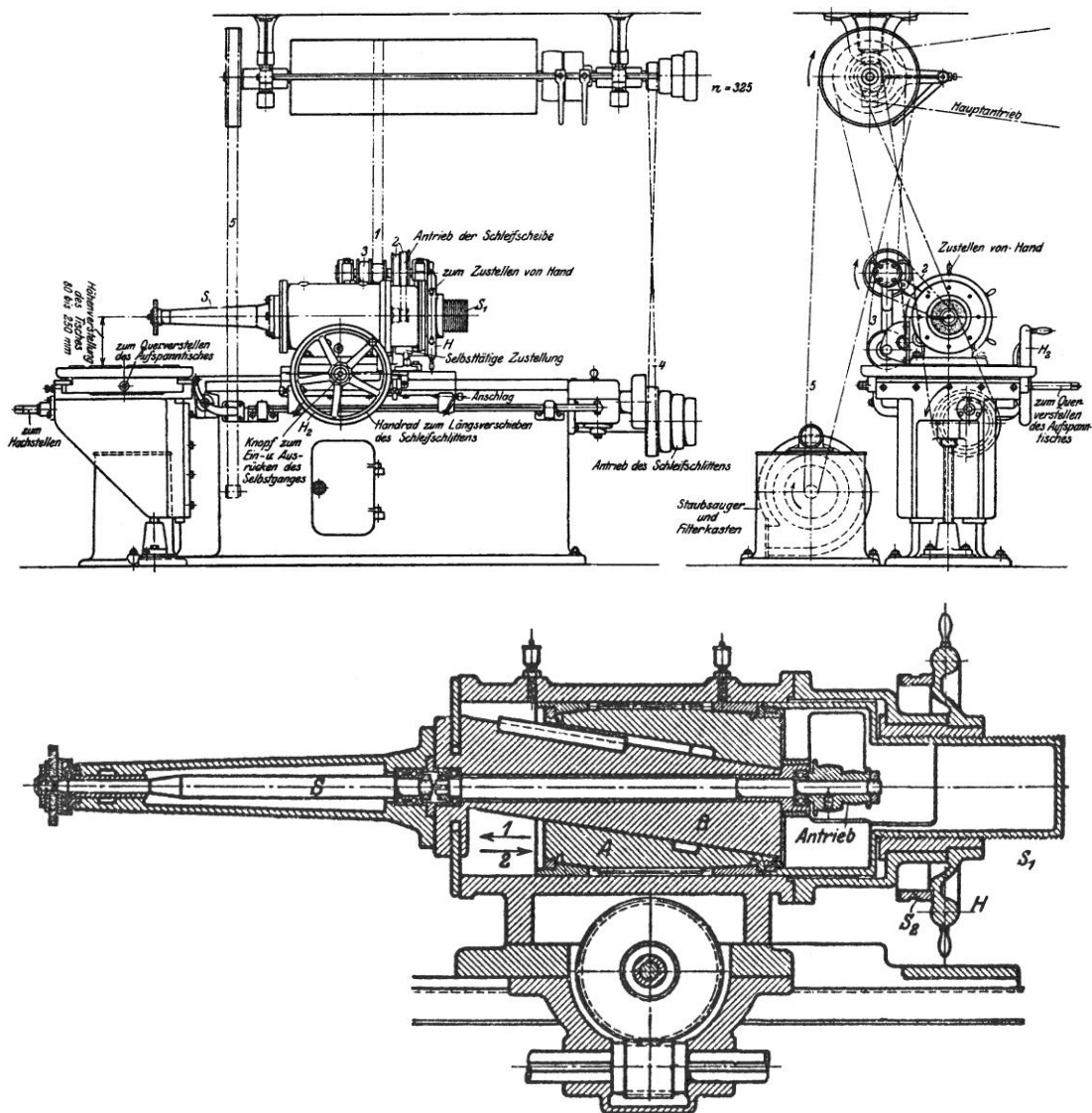
図Ⅱ-2-5 シリンダのプラネタリ研削



Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement. Vol. II, p.296 Fig.1.

図Ⅱ-2-6 は Mayer & Schmidt A-G.製のかかなり旧式なシリンダ研削盤とそのプラネタリ機構を示す。主軸、トラバース機構および集塵清浄機のベルト駆動は図示のとおりである。プラネタリ運動(砥石車軸の公転)はプーリ 3 からのベルトならびに歯車駆動によつたらしい。集塵機が装備されていたのであるから、研削は乾式であった。テーブル面から主軸公転の中心までの高さは 80~250mm と表示されている。King 級のシリンダ・ブシュなら多分、辛うじて載せられたが、そのシリンダブロックまでは扱えぬサイズと言えよう。

図Ⅱ-2-6 Mayer & Schmidt 製シリンダ研削盤とそのプラネタリ機構

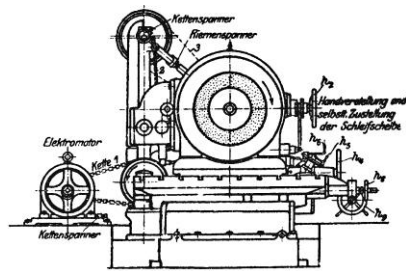
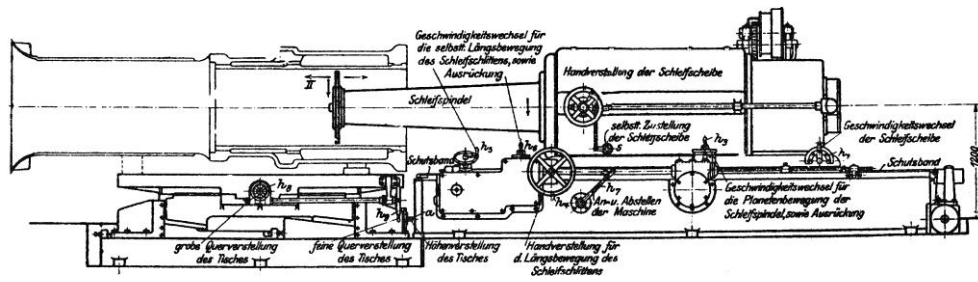


長谷川一郎編『工作機械設計資料』工業圖書，1942年，354頁，第715圖，355頁，第716圖。

偏心量はハンドル H によって S_1 を出し入れすることで樽型ロータ A を $1 \rightleftharpoons 2$ 方向へとシフトさせ、 A に明けられた斜め孔に収められている B の位置を変えてやることで調節されたが、明らかにその調節幅は僅少であった。

図 II-2-7 には同じメーカーの大形でやや近代化されたシリンダ研削盤を示す。相当大的な機械のようであるが、長々と横たわるワークは圧縮機か何かのシリンダとフレームの結合物であったようにも観えるが、それが何であったのかについては不明とせざるを得ない。

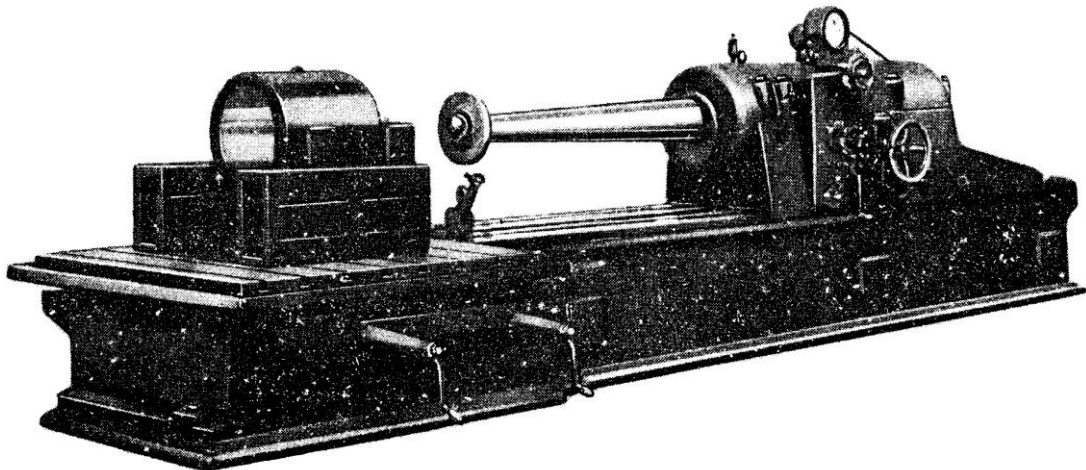
図 II-2-7 Mayer & Schmidt 製シリンダ研削盤

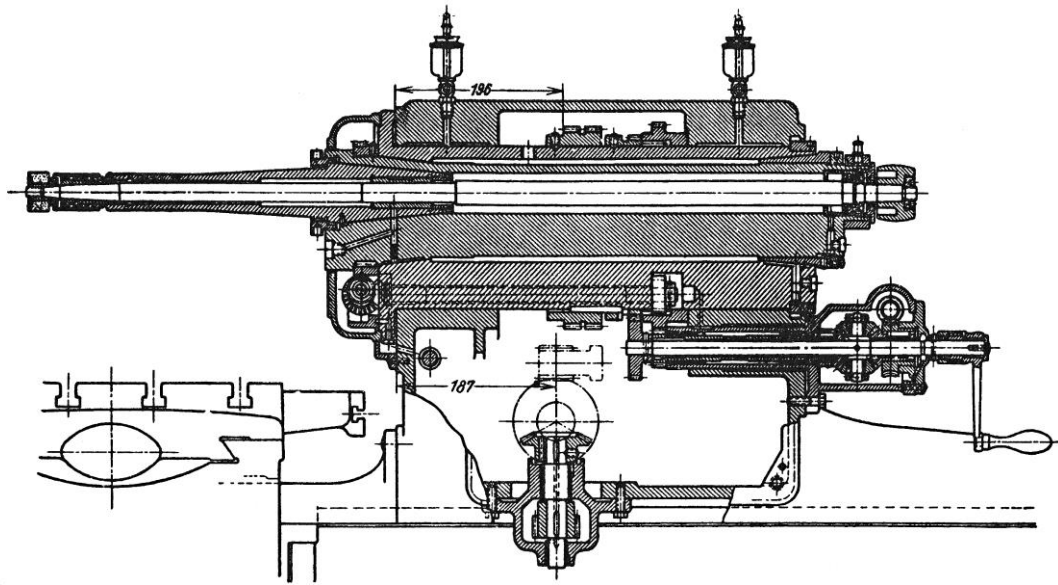


長谷川『工作機械設計資料』355頁，第717圖。

同様に重厚なシリンダ研削盤としてNaxos-Unionの作品の外観と2重エキセンによるそのプラネタリ機構とを掲げておく。偏心量の変更は内筒と外筒の位相変更によって行われた(図II-2-8)。

図II-2-8 Naxos-Union 製シリンダ研削盤とそのプラネタリ機構



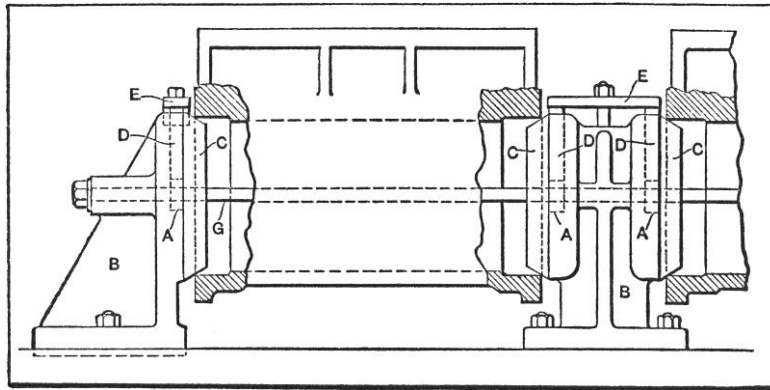


長谷川『工作機械設計資料』332頁，第658圖，334頁，第665圖。

さて、気筒ブロックの工作は当然ながらボアのみにとどまらない。その側面やボイラ煙室受の機械加工はプレーナによった。前者は平面切削であるから特段、解説することもなかろうかとは思うが、20世紀初頭のアメリカで用いられていた興味深い取付具に係わる情報があるので紹介しておきたい(図Ⅱ-2-9)。蒸気機関車シリンダの台枠に対する取付面を平削するために用いられたこの取付具において、ブラケット B は両端用と中央用とで都合 3 個用意されており、3 つのシリンダを直列にセットすることができた。“King” 級のそれのように進化したモノではなく罐台鋳物とも別体の各シリンダは両端のカウンタボアに円すいディスク C をセットされた状態で仮結合ボルトにて 3 連串刺しにされた。C の外側端面にはブラケット B 上の U 字溝の底に合致する円筒突起 A が設けられていた³⁴。

図Ⅱ-2-9 20世紀初頭のアメリカで用いられていたシリンダ側面平削用取付具

³⁴ カウンタボア(端逃げ)はピストンをシリンダに挿入しやすくすること、シリンダ摺動面に段付き摩耗を生じぬようピストンリング摺動範囲の両端部を逃がすこと、シリンダ内に生ずる復水排除(ドレイン)を容易にすること、摩耗しない部分を確保することによってシリンダ軸芯合せを容易にすること、を目的として設けられた。機関車工學會『新訂増補 機関車の構造及理論』上巻，交友社，1940年，392~393頁，参照。

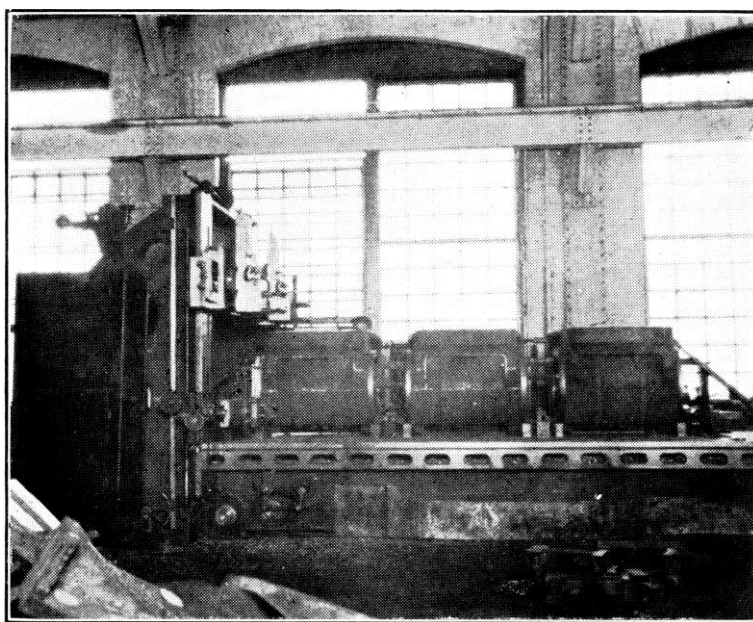


Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement. Vol.IV, p.139 Fig.84.

3 連状態で C の外端面相互間の距離が測定され、これに準拠してブラケット B がプレーナのテーブル上に整列、固定された。続いて、シリンダは 3 連状態でクレーンにより吊上げられ、C の外端面を B の表面に沿わせつつ慎重に降下され、すべての A が U 字溝に合致したところで仮結合ボルトは引き抜かれた。

U 字溝の底にすべての A が着座するまでシリンダは更に降下され、その後、結合ボルト G が通された。この状態で蒸気室が垂直になるよう各ワークは回され(滑り弁が使用されていたことが判る)、A に突き当てる押え金が D に装入され、クランプ E が締め上げられた。最後に、結合ボルト G が強く締め付けられてワークと取付具とは強固に結合され、工作が開始された。この取付具は非常に少数のクランプによって 3 つのシリンダを保持し、取付時間節約に役立ったのみならず、精密で均一な工作を保証した。図 II-2-10 はこれと同工の取付具を用いて 3 連にされたシリンダを平削する'30 年頃の状況を示す。プレーナのサイズは 1524×1524×7620mm.

図 II-2-10 シリンダ側面平削用取付具の使用状況

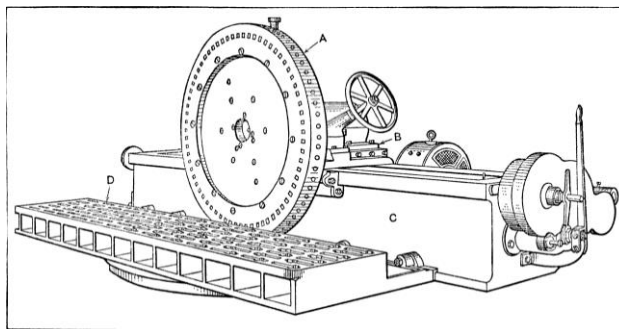
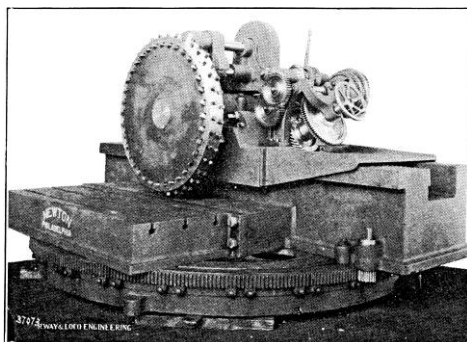


Locomotive Cyclopedia of American Practice. 9th., ed., N.Y., 1930, p.1157, Fig.2835.

なお、20世紀初めのアメリカにおいては機関車部品をはじめ、大物ワークの大きな平面を垂直に立てた状態で重切削するために多数の高速鋼製工具をくわえる回転式カッターヘッドを持つ **Rotary Planer** ないし **End Milling Machine** なる機械が売り出し中であつた(図Ⅱ-2-11)。主軸回転数については不明ながら、嫌でも周速が高くなる直径の大きな回転ドラムの周縁部に工具をつかませられたのは炭素工具鋼の2倍近い切削速度に耐える高速鋼出現のお蔭であつた。

プレーナとは言い条、これは単能フライス盤の一種で、図Ⅱ-2-11左の機械におけるカッターヘッドは直径48in.(1219.2mm)で、その裏面に切られた内歯車によって15hp.電動機によって駆動された。ヘリカル・ラックとヘリカル・ピニオンによる往復台の送りは4段変速となつていた。

図Ⅱ-2-11 **Rotary Planer 2 態(48in., 60in.)**



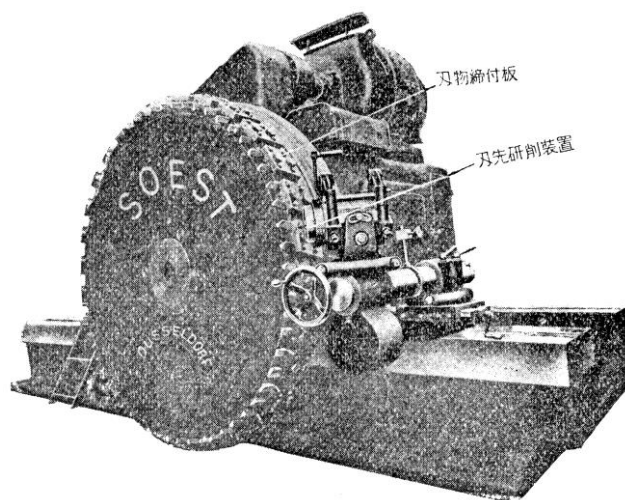
左 : Newton Machine Tool Co.の製品. from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*.
p.427. この会社は'22年, Consolidated Machine Tool Corp. of America の形成に参画.

右 : *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol.V p.104 Fig.12.

図Ⅱ-2-11 右の機械のカッターヘッド径は 60in.(1524mm). B は切込み制御のスライド,
C はベッドで長手方向に自動送り機構付き. D は固定式テーブルである.

アメリカにおける同系機の消長については香として知れぬが、少し時代が下れば、同類の、
それも工具研削装置を備えた重機械がドイツに登場している(図Ⅱ-2-12). この Soest 機は必
要に応じて Widia(後述)バイトを使用することもできた. 正面, カッタ左側のステップから
この機械の大きさが理解されよう.

図Ⅱ-2-12 Soest の Rotary Planer

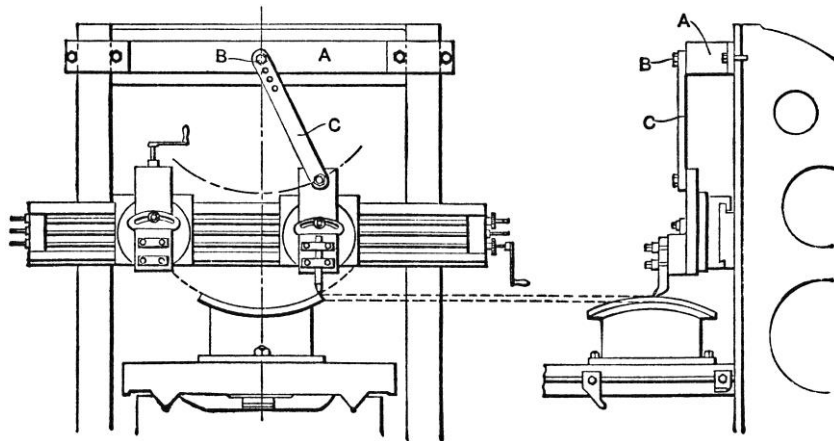


平林寛雄『切削工具』共立社 實地工作法講座・第五卷, 1935年, 274頁, 第327圖³⁵.

他方, King 級機関車に観るような内・外側シリンダ粗形材のサドル(ボイラ煙室受部)は
凹の円筒面であり, これをプレーナで仕上げるということについては若干, 説明が必要であ
ろう. 図Ⅱ-2-13 はプレーナを用いてワーク上面に凹の円筒面を切削する要領を示す. これ
も 20 世紀初めのアメリカの図である. 工具切れ刃の位置を C と横桁の高さによって制御
するワケである. ワークはボイラ蒸気ドームのベースのフランジで, 罐台鑄物やシリンダ・
ブロックよりは小さいものの, 工作は同工であった.

図Ⅱ-2-13 プレーナ用 Radial Planing Attachment の使用要領

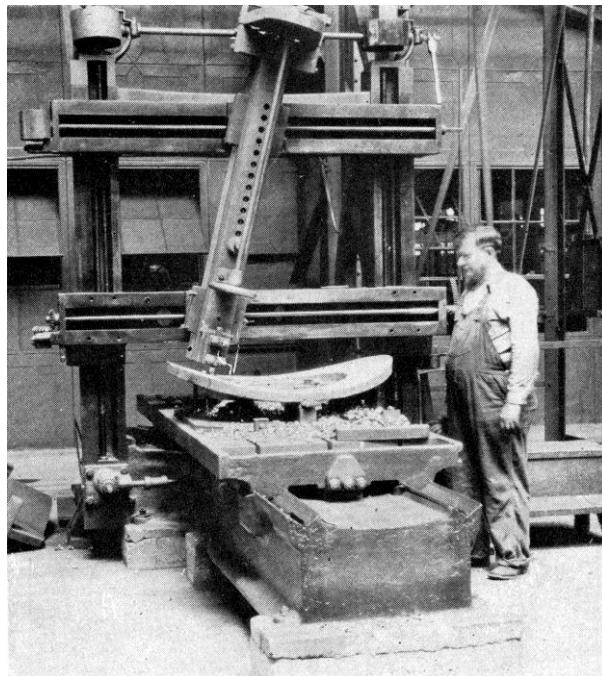
³⁵ 平林寛雄は三洋商會技師.



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V p.92 Fig.3.

また、この方面の工作においては **Radius Planer** と称する一種の専用機も実用されていた(図Ⅱ-2-14)。ワークは前図と同じである。かようなワーク、とりわけシリンダ・サドルを正面旋盤や縦旋盤で削るのは取付けも釣合保持も厄介であり、これだけのために特大の横中ぐり盤を出動させるのも大義である。

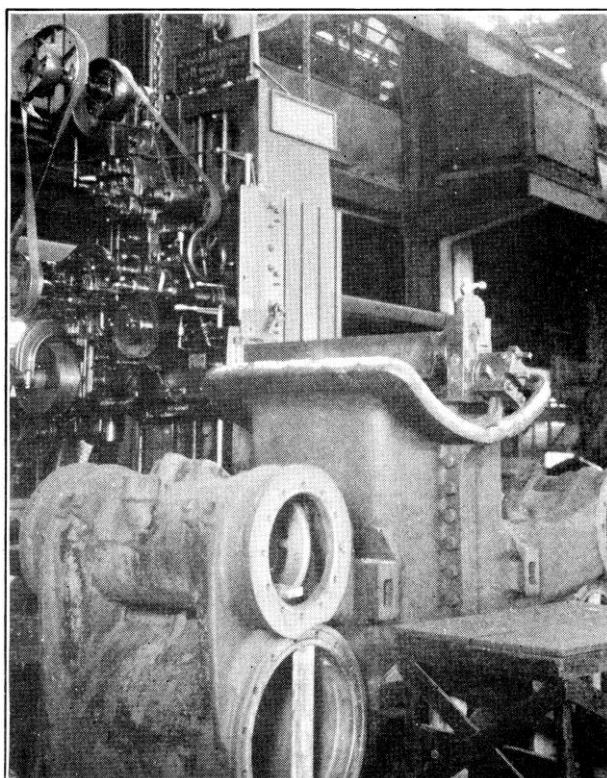
図Ⅱ-2-14 Radius Planer によるドーム・フランジ切削



Locomotive Cyclopeda of American Practice. 9th., ed., 1930, p.1157, Fig.2837.

なお、この種の工作が大形シェーパーに担われることもあった。図Ⅱ-2-15 はその一例で、一体結合されたシリンダ鋳物を容易かつ安定的に保持するため、通常のシェーパーとは逆にテーブル上のワークに対してラムの後退工程で切削を行う **Draw-Cut Shaper** が用いられていた。画像からは確定し得ないが、この機械にはラムの昇降と工具ホルダの旋回との同調によって切れ刃を円周方向に案内する制御機構が供えられていたようである。つまり、本機もまた立派な専用機であった。

図Ⅱ-2-15 **Draw-Cut Shaper** によるシリンダサドルの切削

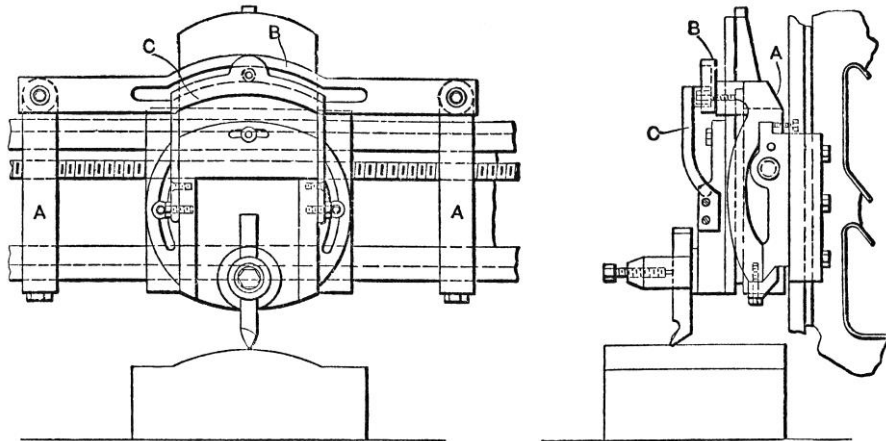


Locomotive Cyclopedia of American Practice. 9th., ed., 1930, p.1159, Fig.2842.

2) プレーナの使い方いろいろ

ついでながら、凸の曲面をプレーナによって削り出すには **Curve Planing Attachment** と呼ばれる機構が用いられた。B が型板、C は **Leader** と呼ばれた。こちらは一種の倣い加工である(図Ⅱ-2-16)。勿論、B を反転させれば凹面を削ることができる。

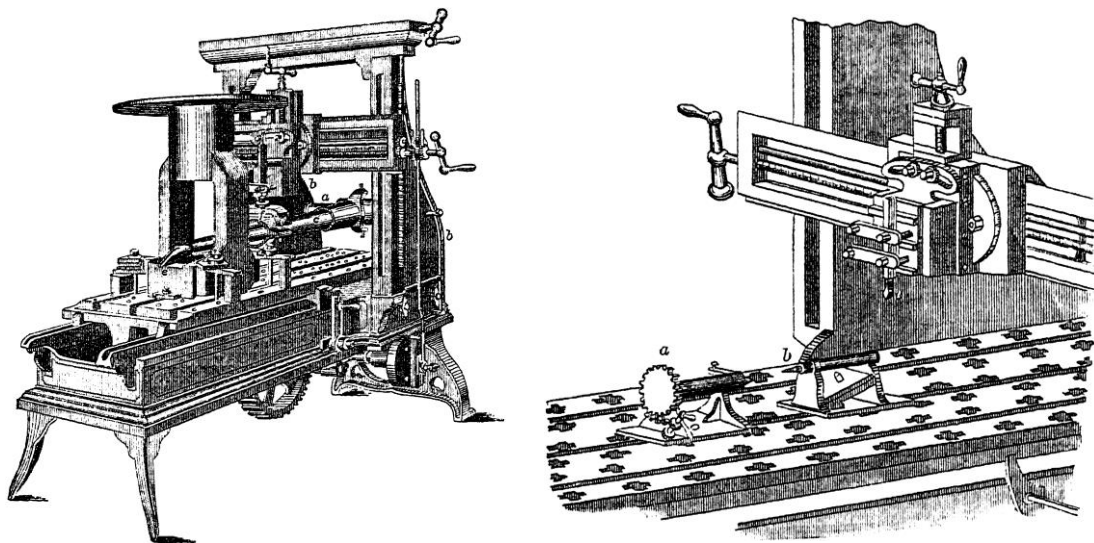
図Ⅱ-2-16 プレーナ用 **Curve Planing Attachment** の使用要領



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V. p.93 Fig.4.

本筋からは離れることになるが、これに関連して紹介しておきたいプレーナの古くからの活用例を図Ⅱ-2-17として掲げておく。左は Shaw's Planer-bar なるプレーナ用アタッチメントで、プレーナを大形シェーパーとして使うためのシカケであった。aはコラムの後方に取付けられるポスト b,b間に渡された管材, cが件のバーで, a,b-b,cは一種の自在継手(フックジョイント)を構成していた。cの先にはバイトがくわえられており、その切れ刃の位置は正面刃物台の下に取付けられた関節金物 fによって定められたから、ある範囲においてワーク内の水平面を上からくり抜く格好で、角の入り隅までキッチリと平削りすることができた。図は大きな鋳物粗形材の空洞部を切削する状況を示す。

図Ⅱ-2-17 プレーナの活用例



Shaw's Planer-bar

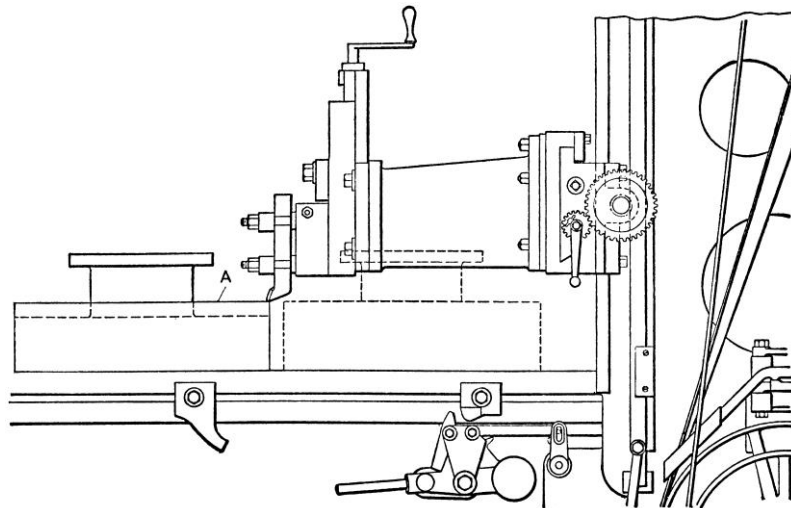
Planer-Centers

Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.1726 Figs.3387, 3388.

図Ⅱ-2-17 右は Planer-Centers と呼ばれたプレーナ用アタッチメントを示す。2つのセンタ a, b はプレーナのテーブル上に固定される。 a には回し金とウォーム機構が供えられており、ワークを回転させることができた。 b は傾斜台上に取付けられており、その高さを変えることができる。よって、両者の使い方次第でプレーナによりある範囲内において凸の円筒面、凸の円すい面、任意の傾斜を有する平面や溝が削り出され得たワケである。

時代が下ればプレーナの活用法も多様化し、洗練されて来る。図Ⅱ-2-18は Shaw's Planer-bar の単純強化盤で、Extension Head と呼ばれ、単に工具をオーバーハングさせるだけのシカケであったが、前者とは逆にコラムを通過できぬ大物ワークに対処するためのアタッチメントであった。

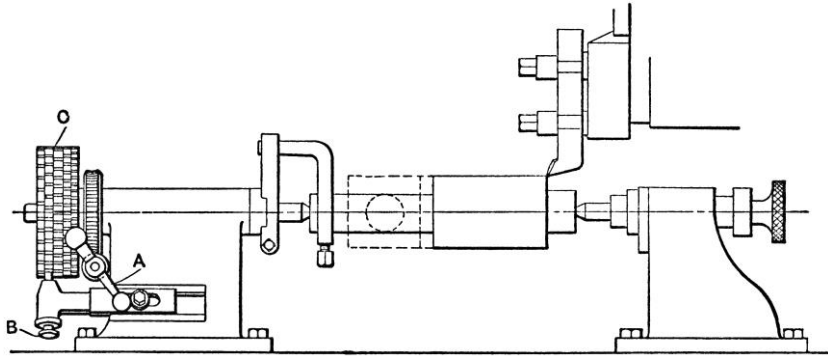
図Ⅱ-2-18 プレーナ用 Extension Head の使用要領



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V p.92 Fig.1.

図Ⅱ-2-19はプレーナ用割出しセンタの使用要領を示す。この装置は勿論、上述の Planer-Centers の単能発展形であり、割出盤によって精確なスプライン溝切削や多角柱の削り出し、総形バイトを用いた平歯車の歯切りが可能となっている。割出し側のセンタ軸に傾斜を与え、その高さを引上げてやれば傘歯車の歯切りも可能となった道理である。

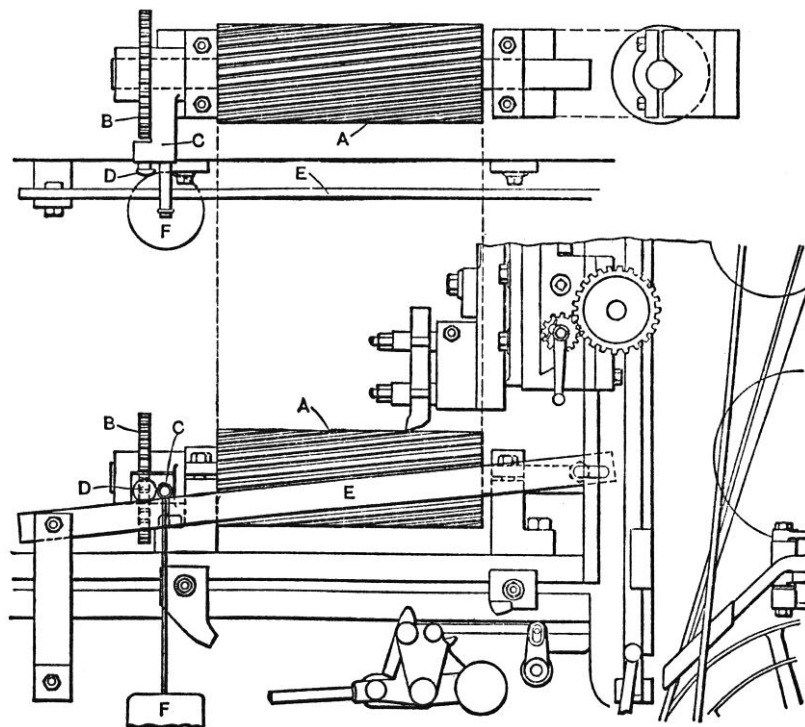
図Ⅱ-2-19 プレーナ用割出しセンタの使用要領



ditto., p.92 Fig.2.

割出しセンタの応用進化形が図Ⅱ-2-20に観るヘリカル溝切削アタッチメントである。主たるワークは製粉用ミル、ゴム混練ロールなどに用いられるロールの類で、これにらせん溝を切るワケである。Bは割出盤、Cなるアームはワークの軸を掴み、かつプランジャDによってBに対しても固定されている。また、Cの外端は錘Fにより傾斜したバーE上に密着させられている。

図Ⅱ-2-20 プレーナ用ヘリカル溝切削アタッチメント

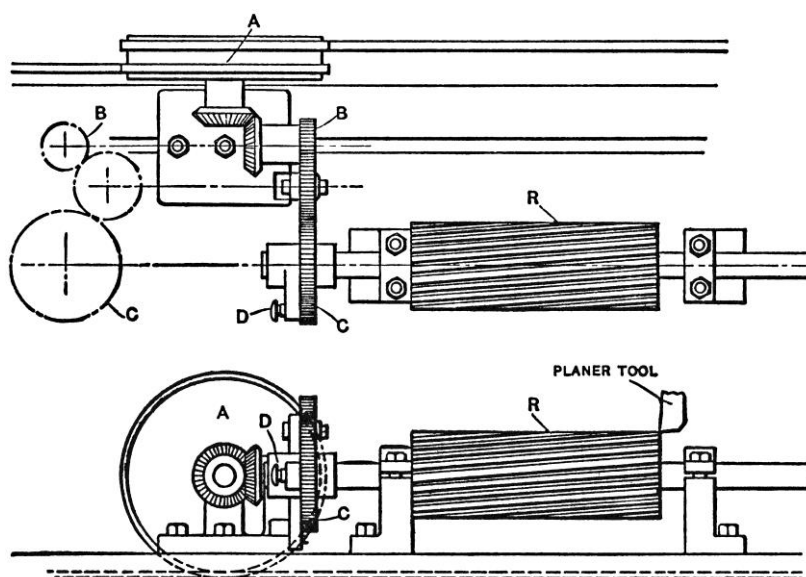


ditto., p.93 Fig.6.

テーブル上にその軸回りの回転のみ可能な状態で固定されたワークがテーブルとともに右方向に進めば、Cの外端はEの斜面を登り、これによってワークは回転し、切削点の軌跡はらせんを描く。1つのらせん溝を切り終えればDを引抜いて割出盤Bのノッチを1つ進めて再び噛み込ませ、次の溝切りへと移る。このアタッチメントであれば、厚みが小さいヘリカルギヤぐらいは切れそうである。

これを更に発展させたのが歯車式ヘリカル溝切削アタッチメント(図II-2-21)である。Aはスプロケットホイールで、これに巻付いた2本のチェーンはその左右外端を固定されている。このため、テーブルが往復動すればスプロケットホイールは左右に旋回する。この首振りには歯車を介してワークへと伝えられ、その右方向への移動に伴ってこれをねじり、切れ刃の軌跡をらせんに誘導する。戻り行程でねじれは回復され、ワークは次のストロークに備えて元の横座標へと復帰する。ワークに直結した歯車Cのリムには円周上等間隔に穴が穿たれ、割出盤の機能を兼ねている。Dはこれを固定するプランジャである。本アタッチメントの長所はBの歯数を違えればヘリカルアングルが広範かつ容易に変更される点にあった。

図II-2-21 プレーナ用歯車式ヘリカル溝切削アタッチメント

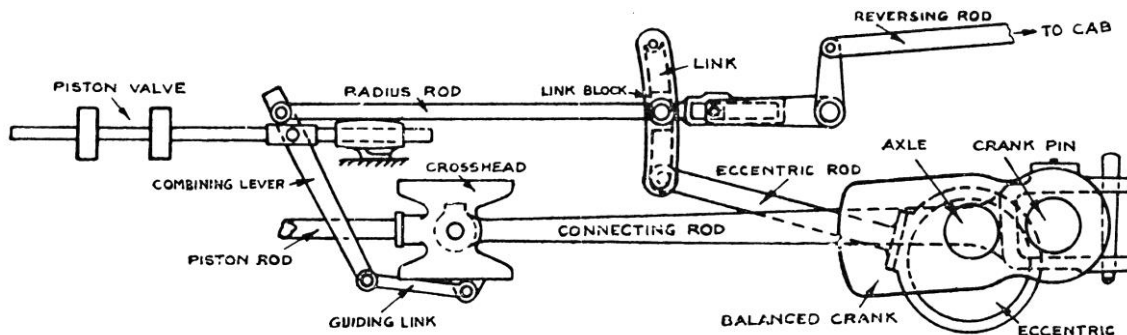


ditto., p.94 Fig.7.

プレーナ用アタッチメントの掉尾を飾るモノとして、再び蒸気機関車に戻り、その弁装置の加減リンクに円弧状の溝を切削するために開発された機構について紹介しておこう。蒸気機関車は熱機関の中で例外的に発停・逆転頻度の高いもので、時には逆行で列車牽引仕業に当ることもあった、その発停・逆転および給気の締切り(=蒸気の膨張比)を司ったのが弁装置である。図II-2-22はKing級機関車の内側シリンダに係わるワルシャート式弁装置の

概念を示す。外側シリンダのピストン弁はこの内側シリンダの弁装置によって間接的にレバー駆動されていた。図中、LINK とある円弧状の部品が加減リンクである。

図 II-2-22 King 級機関車の内側シリンダ用 Walschaert 式弁装置の概念

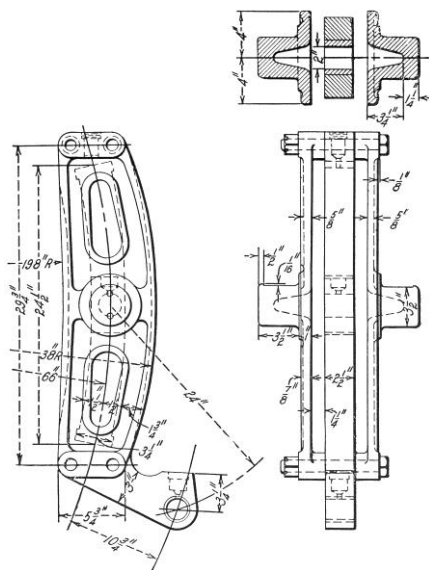


from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.57.

RADIUS ROD の傾き = LINK BLOCK の高さを定めることによってピストン弁の開閉時期や動輪の回転方向が指定された。図 II-2-22 は前後進中立位置を示しており、ここから機関士が RADIUS ROD の右端を引上げるほどに前進側締切りは長く(膨張比は小さく)なった。

加減リンクの詳細設計には多くのバリエーションがある。図 II-2-23 においてはアメリカの機関車に用いられていた加減リンクの単体組立図が例示されている。その中央ブロック中心線上に切られた円弧溝の中にリンクブロックが抱かれることになる。

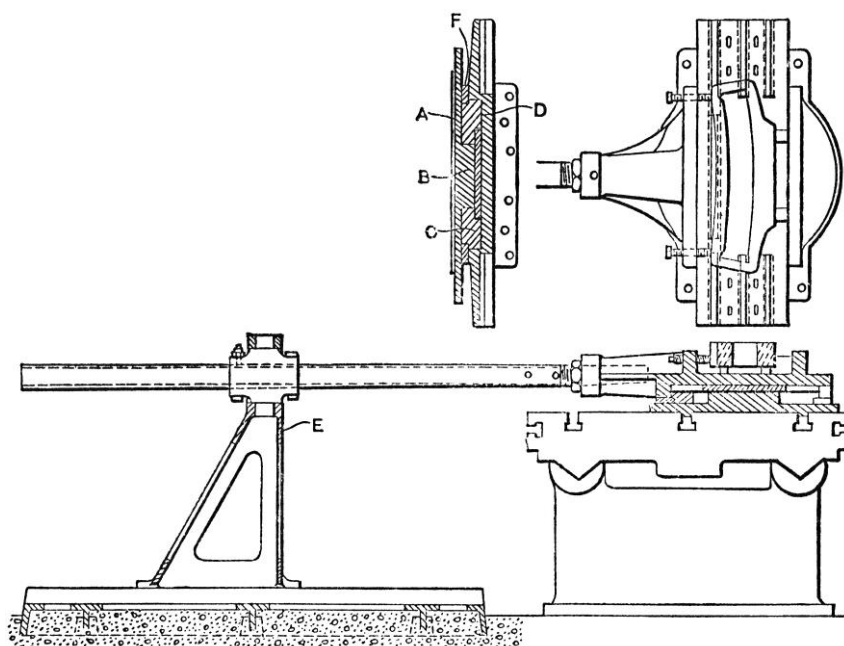
図 II-2-23 Baldwin Locomotive Works の機関車に用いられていた加減リンクの一例



Locomotive Cyclopedri of American Practice. 9th., ed., 1930, p.607 Fig.1316.

図Ⅱ-2-24 はアメリカにて Radius Planing Attachment と呼ばれた加減リンクの円弧溝切り専用プレーナ・アタッチメントを示す。A はプレーナのテーブル上に固定されるプレートで、その中央に正方形の凸部 B を有する。リング C の孔はこの凸部に合致し、凸部に対しては抑え板によって上から拘束される。F はワークを載せる取付具として機能する天板 D を C に対して拘束する保持リングで、C の上面は D に対する軸受となっていた。D には調節可能なスタンド E にセットされたトラニオン軸受け回り受金によって支持される鋼管がラジアル・バーとして接合されていた。

図Ⅱ-2-24 プレーナ用 Radius Planing Attachment



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V. p.93 Fig.5.

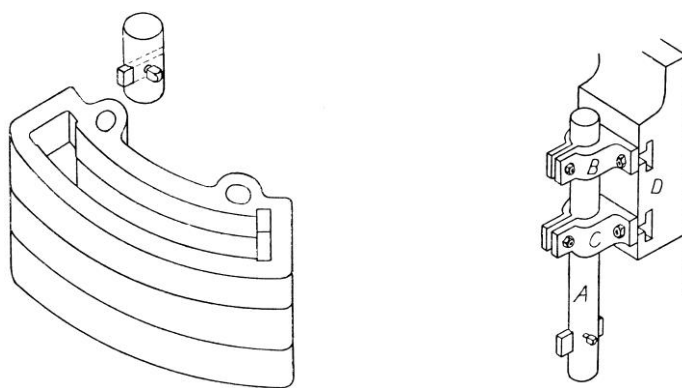
テーブルが進めば E 上のトラニオン軸受け回りに旋回するラジアルバーの作用によって D は B を中心として旋回するからワーク上に刻まれる切れ刃の軌跡は円弧となる。回り受金はラジアルバーを長手方向に拘束しているワケではなく、また、旋回トルクによる切削抵抗の作用線は本来の切削(テーブル移動)方向と一致しているから工具がこの旋回によってこじられることはない。

裏表を平削され外周をフライス加工されたワークにはバイトによる切削の始点と終点に導孔が都合 4 つ穿たれ、隣接する孔 2 つはスロットタにより溝を切つてあらかじめ連結された状態でセットされた。バイトは細い溝を切るバイトが 2 本用いられ、2 本の円弧状の溝が同時に切り終えられれば溝に挟まれた中間部はそのままの恰好で取出された。このラフカットが完了した後、溝の側面は側面切削用バイトを用いて仕上げられた。

切られる円弧溝の円周長さはプレーナと E との距離の取り方次第で、その半径はバイトと D の中心との距離により、いずれもある範囲内において変更可能であった。このアタッチメントは加減リンクの溝切り専用とはいえず、四分円その他の丸い部品の工作にも当然ながら使用され得た³⁶。

なお、加減リンクの溝をスロットと回転テーブルとによって切削する工作法も行われていた。図 II-2-25 がそれで、ワークは 3 枚重ねにされ、特殊な工具ホルダをくわえたスロットによって溝切りされた。しかし、これでは工作精度は前掲 Radius Planing Attachment による工作より劣ったのではなかろうか？

図 II-2-25 スロットと回転テーブルによる加減リンク溝の切削



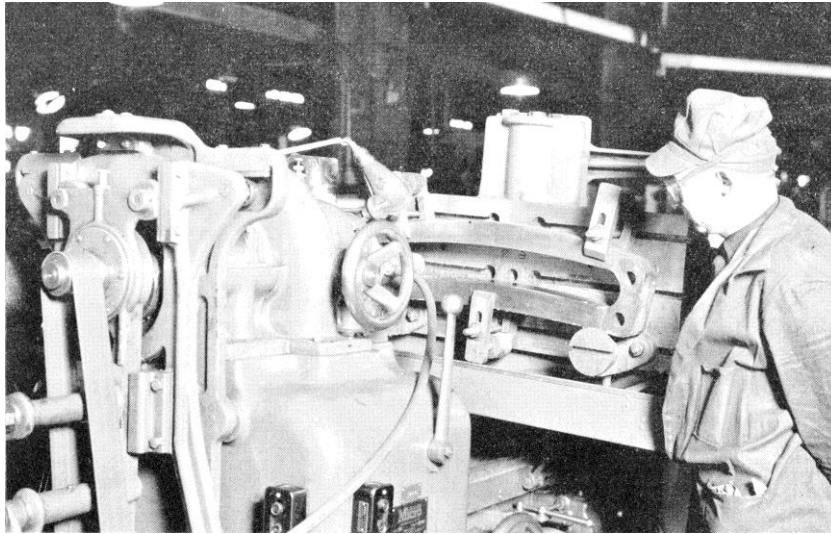
山口『平削盤、形削盤及堅削盤仕事』62 頁，第 103, 104 圖。一部修正。

'30 年代を迎える頃には加減リンク溝の内面仕上げにも専用アタッチメントを取付けた内面研削盤が用いられるようになる(図 II-2-26)³⁷。

図 II-2-26 加減リンク溝の研削作業

³⁶ ラジアルバーの巡回半径を固定するとともに D との連結部を関節にし、D を送りと直角方向にスライド可能にしておけば、E に向って凸の円弧を削らせることもできる。田中重芳『ボール盤・フライス盤・形削り盤・平削り盤』共立社 實用機械工学講座・工作編，1934 年，108 頁，参照。同書 106~107 頁にはプレーナによる凸面，凹面切削についての略解を見ることができる。田中は広島高等工業学校教授。

³⁷ 加減リンク溝の内面研削状況を示すモノとして実見し得た最初期の画像は *Locomotive Cyclopedri of American Practice*. 9th., ed., 1930, p.1178 Fig.2889 で，Cincinnati Grinders Inc.の製品紹介におけるそれである。図 II-2-26 はヨリ絵柄として美しい画像として選ばれたが，この内面研削盤も同社の製品と鑑定される。同じ画像は *ditto.*, 11th., ed., N.Y., 1941, p.1174 にも掲載されているが，その画質は極めて不良となっている。



from *Locomotive Cyclopedia of American Practice*. 10th., ed., N.Y., 1938, p.1096.

同時代のアメリカにおいては大はシリンダブッシュから小はピン孔まで、孔の内面仕上げにもリーマ仕上げに代ってホーニングが汎用されるようになって来る。しかし、ホーニングは明確に'20年代アメリカ自動車工業に淵源を有する工作法であるから、ホーニングそのものについては追って自動車絡みで本格的に取上げることにする³⁸。

さて、ここまでプレーナとその周辺についてやや詳しく紹介して来た。その多くは曲面、曲線切削に係わる事例であった。かように八面六臂の活躍を見せたプレーナも、今やほとんど過去の機械として扱われるに至っている。例えば：

フライス加工が普及せず、設備、工具費ともに高価であった時代には、平削りは平面あるいは直線案内面を製作する加工法の中心であった。

特に、工作機械の案内面の加工法としては平削り加工が伝統的に使用されていて、これがフライス加工に置き替わったのはそう遠い昔のことではない。今日では、加工能率が悪いと工作機械メーカーから平削り盤が姿を消した³⁹。

確かに、まこと仰せの通りなのではあるが、プレーナは本質的に不器用な機械ではあったが、それこそ“遣い様”であり、決してバカの一つ覚えのごとく、明けても暮れても単純な平面切削ばかり繰返す機械であったワケではない。この厳然たる歴史的事実だけは閑却させまじと思えばこそその脱線的長口上であった。

³⁸ 自動車工業から機関車製造業へのホーニング技術の伝播については cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol.VII, pp.314~315. この部分は 1928 年に催された Society of Automotive Engineers のミーティングにおける C.,G., Williams による報告の要約で、機関車部品への展開に係わる言及もなされている。

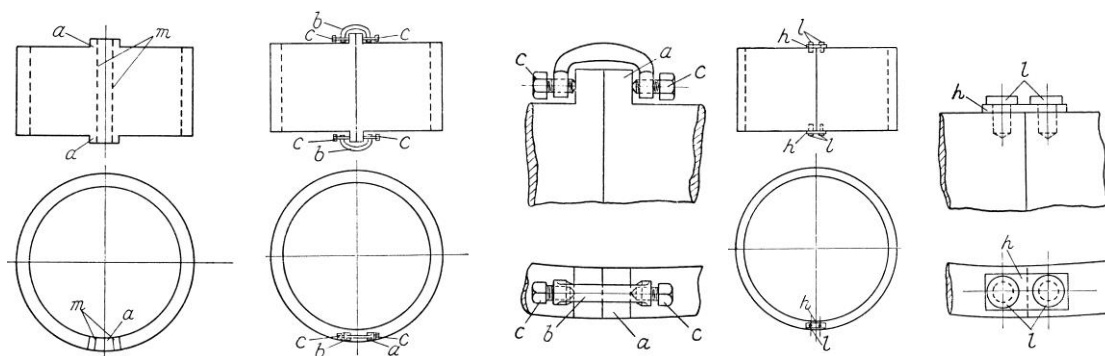
³⁹ 橋本文雄・山田卓郎『新編 機械加工学』共立出版、1990年、99頁、より。

3) ピストンおよびピストン弁回りの工作

シリンダボア内部を往復動するのがピストンであり、これと外部とを連結する最初の部分がピストン棒である。機関車用ピストンは一般に鑄鉄(King)、鑄鋼ないし鍛鋼粗形材からの挽き物で、リング溝は多くの場合、旋削後、後掲図Ⅲ-3-61のようなサイドカット用砥石車で仕上げられた。機関車用ピストンリングは鑄鉄製と決まっていたが、その工作法はかなり込み入っていた。Swindon のデータは得られていないのは残念であるが、コトはピストン・エンジン 容積型機関の枢要部、速度型機関におけるノズルやブレードに相当する膨張室の気密装置に係わる一件でもある。よって、わが鐵道省において採られていたピストンリングの面圧を等圧分布化する、つまり均一なリング面圧を得るための工作法 2 例を紹介しておきたい。

図Ⅱ-2-27 に観る第 1 の方法は端面円周上に突起 a , a を持つシリンダ内径より若干大きな外径の鑄鉄製厚肉円筒を吹き、 m , m をメタルソーで切断し、 a , a の残存部をクランプして両切断面を密着させる。あるいは突起とクランプとはよらず、両端面に当て板をネジ止めして同様に密着させる。

図Ⅱ-2-27 機関車用ピストンリング粗形材とその旋削前の工作

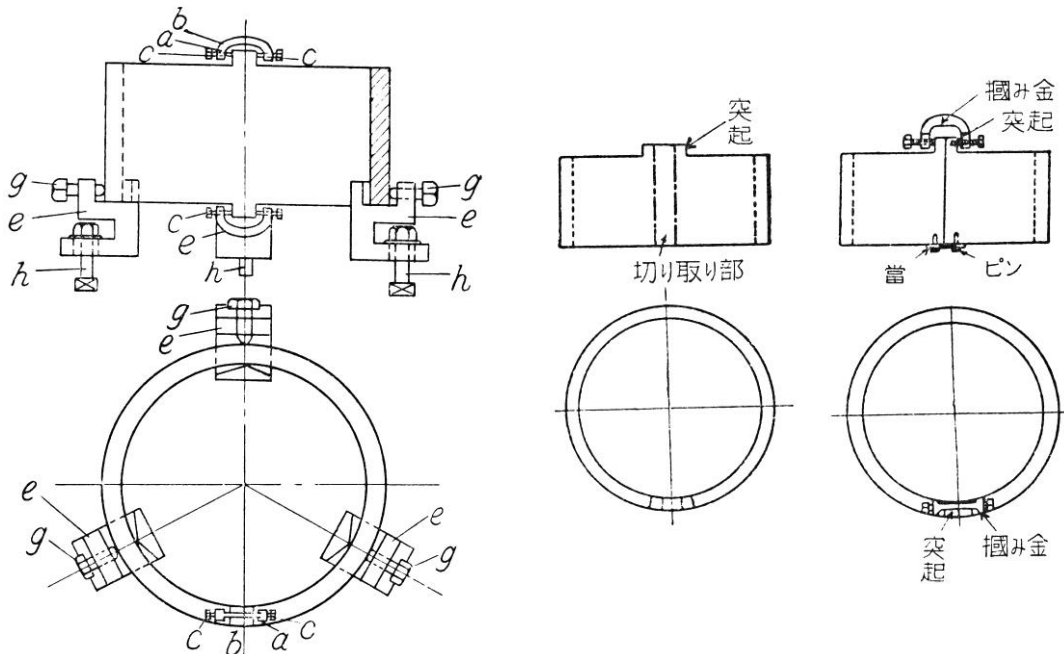


山口貫一・堀 謙作『旋盤仕事』下巻、共立社 實地工作法講座 第 3 卷、1935 年、296 頁、第 485(一部修正)~489 圖⁴⁰。

続いて、図Ⅱ-2-28 左のように、これをなるべく歪ませぬような恰好で豎旋盤ないし豎中ぐり盤に取付け、内外径を旋削、設備が許せば外径研削の後、豎旋盤によって上の方から順次、突切って行ったワケである。なお、当て板を用いれば約 25mm のネジ孔深さに対応する粗形材の幅は廃品化してしまうため、鑄込みの際、下になる鑄物品質の優良な側にのみ突起を設けておいてクランプし、品質の劣る他端はフラットに成形しておいて当て金を用い、当て金=不良側を下にして突切ることによって優良部をすべて活かす図Ⅱ-28 右のような折衷法も行われた。これで切削行程は終了となる。

⁴⁰ 山口貫一は鐵道省技師、堀 謙作は鐵道省大宮工場技師。

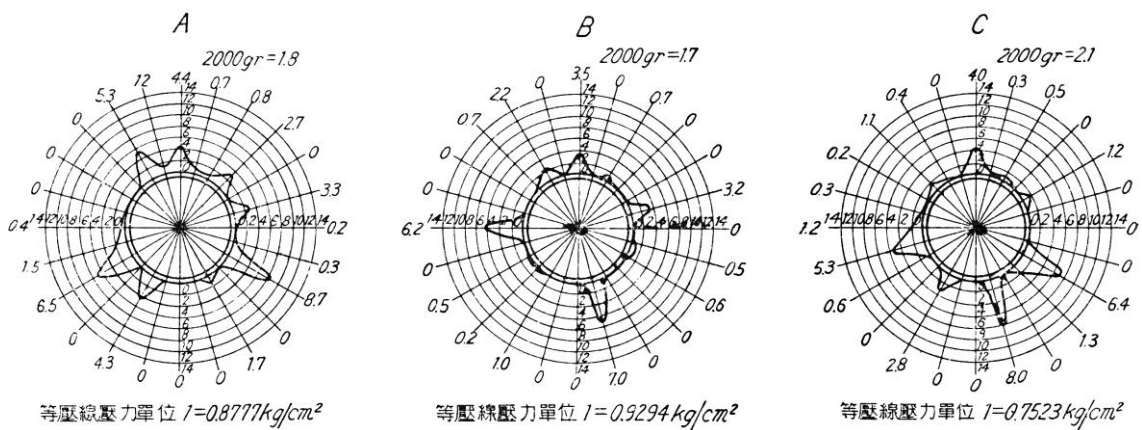
図 II-2-28 クランプ法による堅旋盤へのチャッキングと折衷法



同上書，296 頁，第 490 圖，298 頁，第 492, 493 圖(一部修正).

この工法によって製作されたピストンリングのシリンダ装備状態における面圧を理化学研究所製ピストンリング張力測定器で計測した結果が図 II-2-29 に示される通りであった。これは静的状態での等圧分布があれば OK とされていた時代ならではの測定ではある。

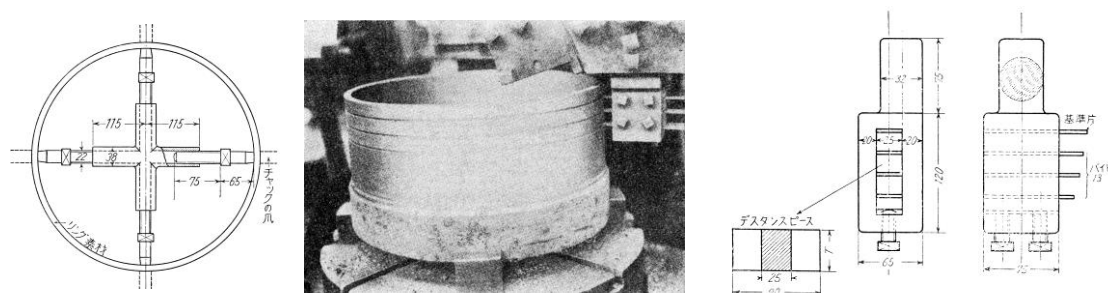
図 II-2-29 ピストンリング張力計測結果の例



同上書，298 頁，第 494 圖。

第 2 の方法はシリンダ内径に等しい外径を有する薄肉の鋳鉄円筒を吹き、これを図 II-2-30 左のような変形防止具を用い、図 II-2-30 中のように堅旋盤に取り付け、板バイト 3 本をつかんだホルダ(図 II-2-30 右)を用いてリング 3 本を一連の切込みで突切る。

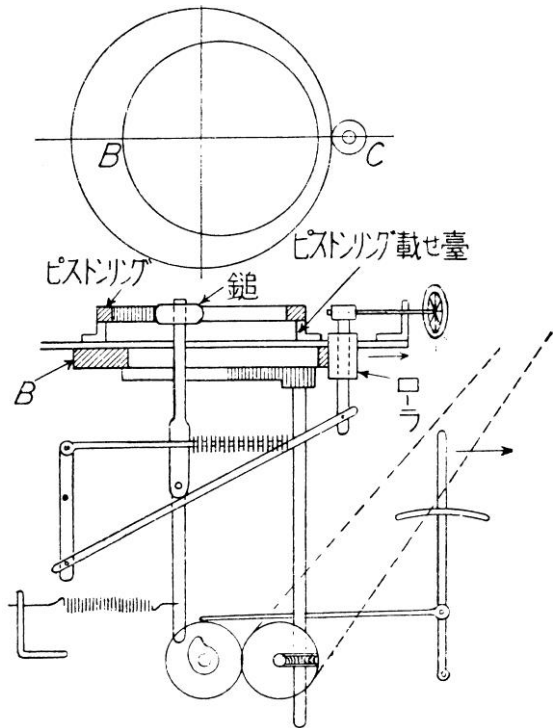
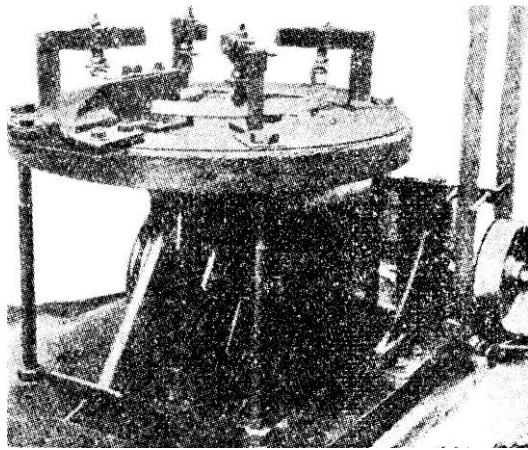
図 II-2-30 変形防止具と堅旋盤へのワーク取付→突切り状況、板バイトホルダ



同上書，300 頁，第 497, 496 圖，299 頁，第 495 圖。

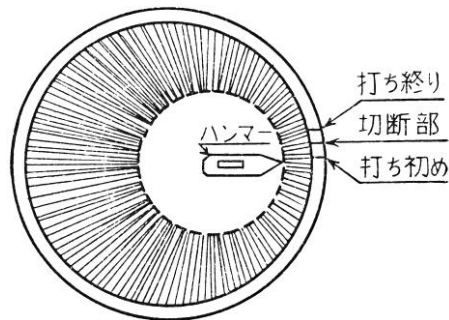
続いて、合口切断に先立って、突切られた環がやがて均一な張力を発揮できるようにしておくため、「鐵道省某工場考案の」専用機を用いて内部からハンマリングが行われた(堀が努めていた大宮工場か?)。つまり，“hammered ring”の製造である。図 II-2-31 がそのハンマリング機で、ハンマリングは 1 回転にて終了した。図 II-2-32 はハンマリングの打撃強度分布を示す。もっとも、事実上、この工作法の発想自体はやがて観るアメリカの自動車部品製造技術界における先行実施例(図あ III-2-35)からの借用であったと観て間違いなからう。

図 II-2-31 鐵道省某工場考案のハンマリング機



同上書, 301 頁, 第 499 圖(甲), (乙).

図 II-2-32 ハンマリングの打撃強度分布



同上書, 300 頁, 第 498 圖.

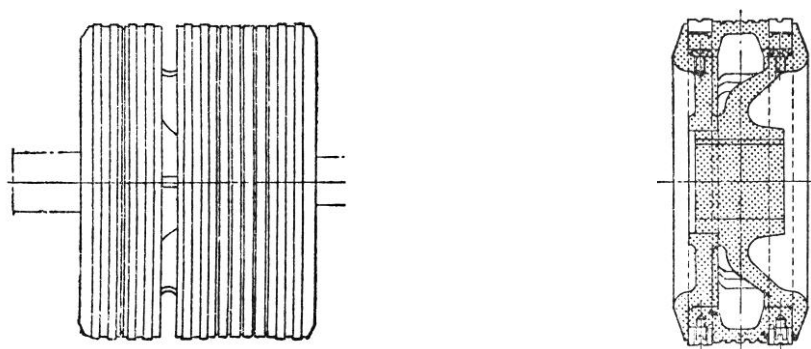
ハンマリングの後, 合口切断と Blanchard 平面研削盤(テーブル径 660mm, 砥石外径 450mm, 同内径 386mm, 同厚み 127mm, 砥石車回転数 1800rpm)による両端面研削, バリ取りを経てリングは完成した. 研削工程については第 1 の工法でも同様であったと考えて良からう.

なお, ピストン弁の弁体とピストンリングはピストンとピストンリングの小型版のようなモノであったが, 弁体のリング溝は図 II-2-33 のような多刃バイトホルダを用いて旋削された. これは元々, インチシステムで描かれた図であったようである.

はこの取付具の採用によって工作時間は摺合わせに比して 3 割に激減し、なおかつ、^{リーク・テスト}漏洩試験の結果、「気筒内圧縮圧力」は「約 1 割の増加を挙げ得た」と報告している⁴¹。

そもそも、ピストン弁のシーリング性能が云々されているのであるから、ここに謂う「気筒内圧縮圧力」は正しくは蒸気室内圧力ではないかと推測されるが、この点に関しては重大な付帯情報を掲げぬわけには行かぬ。鐵道省の蒸気機関車用ピストン弁には複式と単式との別があり、型式呼称に C や D, E が付く蒸気機関車には当初から単式ばかりが採用され、1927 年以前に製造された古い機関車のピストン弁も順次、オリジナルの複式から単式組立弁へと改造されていた(図 II-2-35)。

図 II-2-35 複式ピストン弁(左)と単式ピストン弁(右)



有原俊二『最新版 機関車工学』東洋書籍出版協會，1935 年，254 頁，第 123 圖，256 頁，第 124 圖，より。

“grooved ring” 即ち、半円断面の小さな溝を有するリングが描かれているため紛らわしいが、複式の方に見えているリングは $2+2=4$ 本で、それらは各弁体の前後端に嵌められ

⁴¹ 山口・堀『旋盤仕事』下巻，306 頁，参照。1925 年，制定に至った鐵道省におけるリーク・テストの開発経緯や具体的仕様，導入事蹟についてはその創案者自身が詳細な記録を残してくれている。今村一郎『機関車と共に』ヘッドライト社，1962 年，115~123 頁，参照。具体的な実施法については大阪鐵道管理局編著『機関区従事員必携』大鉄図書，1951 年，326~330 頁，参照。

かの島 秀雄が機関車の「使用者側の第一人者」と唱え，C53 型の鍊成について「氏の智識経験に大いに啓発を受けましたが，それではじめてこの機関車を使い易い機関車として完成したものであります」とまで称揚した鐵道省現場叩き上げ機関車技術者の泰斗，今村一郎については，その著書に加え，拙稿「C53 型蒸気機関車試論[訂正版]」，「作業物質中の混入異物対策に見る熱機関技術史の基本問題(Ⅱ)」(いずれも→IRDB)をご参照頂きたい。

ていたワケである。溝入りリングは一般的にはピストンに用いられ、ピストン弁には平らな摺動面を持つリングを当てる所作が普通であった⁴²

複式から単式へのピストン弁設変および改造がなされたのは今村一郎の体系的な実験によって単式ピストン弁の方がリークロスが少なく、蒸気、従って石炭の消費率において俄然、数%から最大 10%程度も良好である事実が究明されたからに他ならない。この単式ピストン弁採用は鐵道大臣官房研究所などの主張を押しつけての快挙であった⁴³。

図Ⅱ-33 のバイトホルダを用いて旋削されたのが複式ピストン弁のリング溝ではなく、3連に重ねられた単式ピストン弁のそれであったことは図Ⅱ-35 との対照を通じて明らかとなる。よって、山口・堀の叙述に一貫性があるとすれば、リークロスの低減も単式ピストン弁に係わる試験結果であったと考えるのが自然である。つまり、工作精度の伴わぬ状況で複式ピストン弁などという複雑な機構を弄するならば、却って漏洩が助長されるとの結論になろう。そして、件の取付具は複式に対して元々、優っていた単式ピストン弁の性能を一層、向上させたワケである。

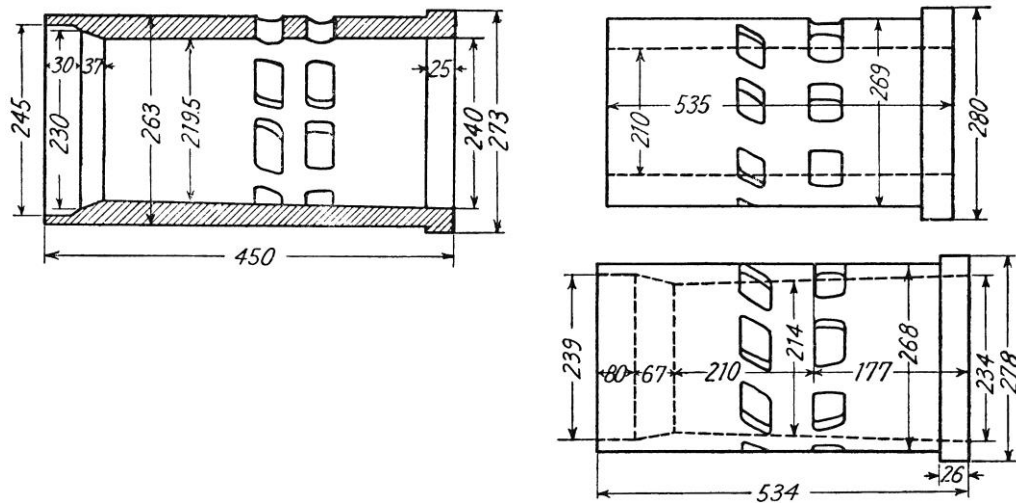
ピストン弁がその中を摺動する蒸気室ブシュは鑄鉄製のポートだらけの筒であったが、その内外径の旋盤による工作の効率を高めるため、鐵道省においてはブシュ鑄造粗形材の設計を根本的に変更し、鑄造作業ならびに旋盤作業の効率化を達成している。図Ⅱ-2-36 は比較的小形の機関車に用いられた蒸気室ブシュの切削加工完成品と旧型粗形材、新型粗形材を示す。切削加工完成品には直径で+0.5mm の研削代が計上されていたと推定される⁴⁴。

図Ⅱ-2-36 蒸気室ブシュの切削加工完成品，旧型粗形材，新型粗形材

⁴² 機關車工學會『新訂増補 機關車の構造及理論』上巻，交友社，1941年，119~120頁，参照。

⁴³ 今村『機關車と共に』124~129頁，参照。

⁴⁴ 鐵道省の機関車においては200φ，220φ，250φ，280φ型の蒸気室ブシュが用いられていた。弁体径はそれぞれ199，219，249，279mm。大阪鐵道管理局編著『機關区従事員必携』339頁，参照。



龍崎虎男『作業研究の方法及実例』共立社 実用工作法講座・第三巻，1935年，157頁，第81，83圖⁴⁵。

粗形材は全体として薄肉化が図られた上，内部にはテーパを付与したため，その重量は81kgから61kgへと大幅に軽量化された。テーパのお蔭で中子製作・組立時間は54.83分から44.54分へと，総鋳造作業時間も156.55から146.26分へと短縮された。

外径旋削時間は機械作業が28.17分から16.33分に，手仕事も21.5分から20分に短縮された。内径粗中ぐりは機械作業が64.95分から24.62分へと激減し，手仕事も38.33分から31.61分へと短縮された。仕上げ中ぐりは機械作業が4.28分から2.35分に短縮され，手仕事も41.62分から33.41分へと激減した。この内，機械作業時間の短縮は削り代を減らしたことによっている。

一方，手仕事の中身は，その時間が外径旋削より中ぐり，しかも粗より仕上げの方へとヨリ長く計上されている事実に鑑みれば，ヤスリを用いて多数のポート周りに発生したカエリを除去し，最終的には内面側を面取りすることであったと推察される。

それやこれやを含め，結果として総機械作業時間は97.40分から43.30分へと半分未満へと切下げられ，ワークの脱着など準備時間込みの総旋盤作業期間も217.65分から147.12分へと大幅に削減された。

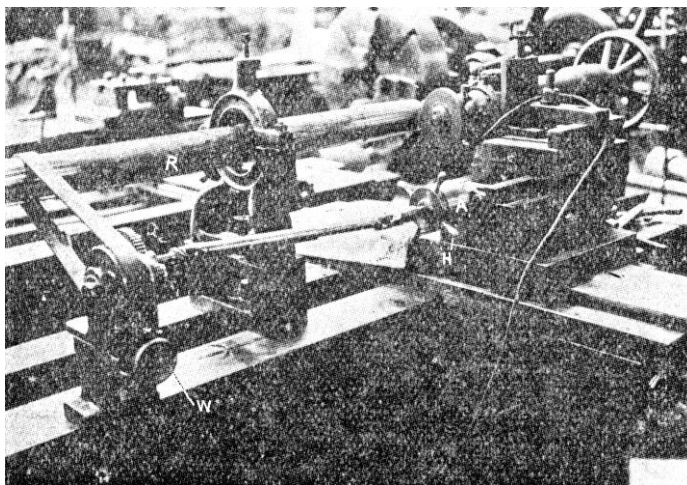
続いて，ピストンと外界とを繋ぐピストン棒に眼を向けよう。ピストン棒は炭素鋼棒材を長尺旋盤で旋削してから研削仕上げして調達される部品であり，取り立てて面白い工作法も採られていなかったようである。それを研削した円筒研削盤については間もなく触れる機会を持つ(図Ⅱ-2-50，参照)。

ただし，昭和初期，財政難に窮していた鐵道省における改良事績については触れておくべきであろう。従来，鐵道省の工場においてはピストン棒のクロスヘッド嵌入部のテーパ仕上げにテーパ旋削機構が付属していない2400mm程度の長尺旋盤を用い，手動で切込みを加

⁴⁵ 龍崎虎男は鐵道省技師。

えて行くまことに危うげな方法を探っていた。しかし、これでは精度も能率も低位に過ぎたため、「某工場」においては図Ⅱ-2-37、-38のようなテーパ工作アタッチメントが考案、製作され、「相当好成績を擧げて居る」と報告されていた。ワークであるピストン棒 R からベルト伝動と自在継手入りの軸とクラッチ A とを介して工具台に自動送りが与えられた。工具台の案内には $1/16$ の傾斜が設定されていたため、この送りによってテーパ切削・研削加工が行われた。見事な工人魂の発露である。

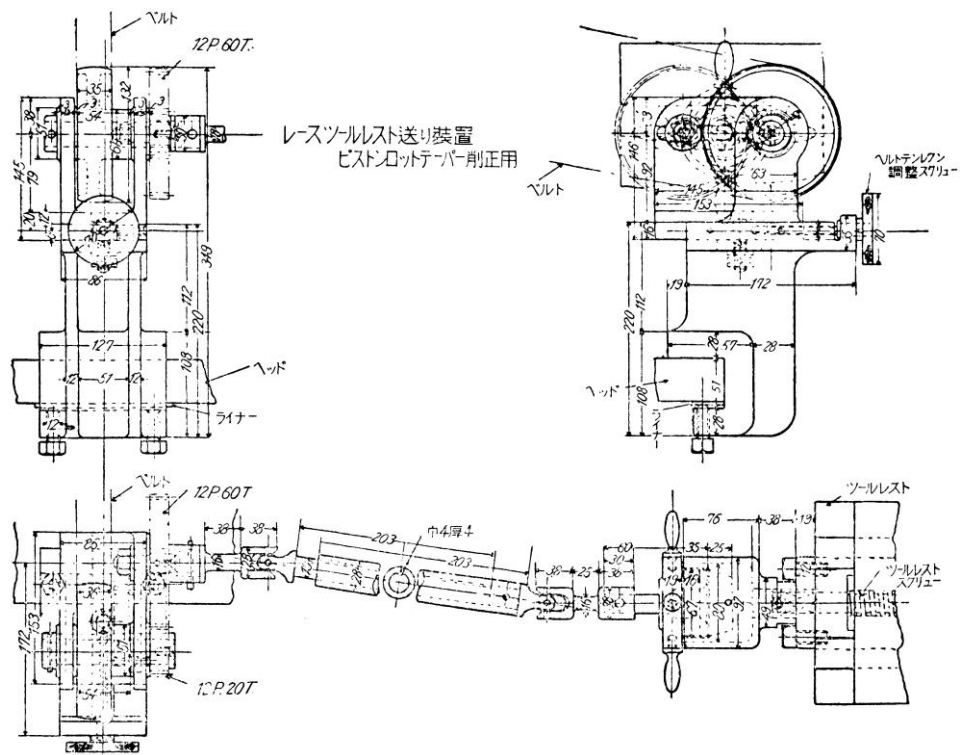
図Ⅱ-2-37 鐵道省某工場考案テーパ加工アタッチメントの外観



山口・堀『旋盤仕事』下巻，274頁，第461圖。

Aの内部にクラッチがあり，Hの操作により嵌脱。

図Ⅱ-2-38 鐵道省某工場考案テーパ加工アタッチメント



同上書，275頁，第462圖。

ヘッドはベッド，ヘルトテレフンはベルトテンション，と思われる。前図Wである。

図II-2-37の写真では工具台にピストンのリング溝仕上げ用の電動機直結式研削盤が載せられており，図II-2-38上には送り機構をベルト駆動する装置の2面図が，同下にはこの装置からの駆動系全体の平面図が示されている。そして，この小形研削盤をバイトホルダに置換えて旋削を行うことも可能であった。ピストン棒の相方となるクロスヘッド(Kingの場合，鋳鋼製，鐵道省では鋳鋼と鍛鋼とを併用)の孔は研削によってテーバ仕上げされた。

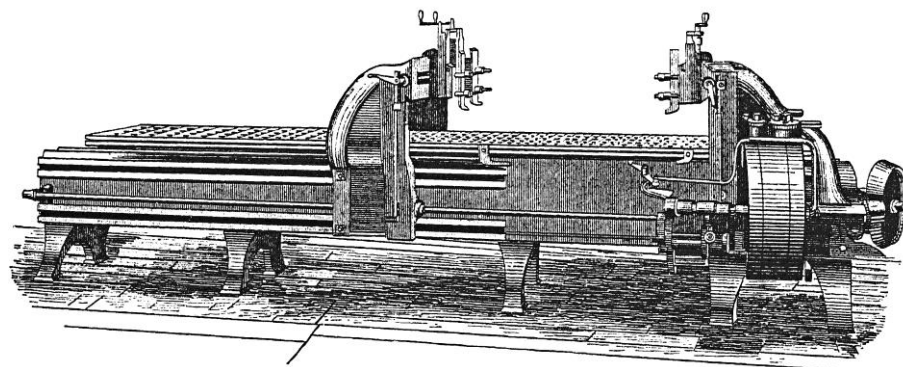
4) ロッド類の工作

クロスヘッドはスライドバーに案内されつつ往復動するが，クロスヘッドの先にはコネクティングロッドが連結され，これによってクロスヘッドの往復運動はクランクピンの回転運動へと変換される。スライドバー，コネクティングロッド，サイドロッドや上掲した弁装置のロッド類など，蒸気機関車には棒状の重要機能部品があまたある。コネクティングロッドとサイドロッドは横断面を“**I**”型に成形するた，フライスで溝彫り加工された。

ロッド類表面の平面切削加工に資するために開発された工作機械としてロッド・プレーナ，つまり幅が狭い割にストロークの長いテーブルとベッドとを有する棒材専用プレーナがある。図II-2-39はその一例で，Sellersの製品である。一応，門型を呈してはいるものの，コラムも横桁も当然ながら極めて短く，それらは対向して対をなし，それぞれに2本のバイトを掴む正面刃物台を担持していた。刃物台相互間の距離を変えることにより，この種のロ

ッド・プレーナにおいては一例として 3½in.~10ft(88.9~3048mm)といった範囲の長さを有するロッド類の平削が可能となっていたが、往復切削を行う関係でテーブルに早戻り機能は装備されていなかった。

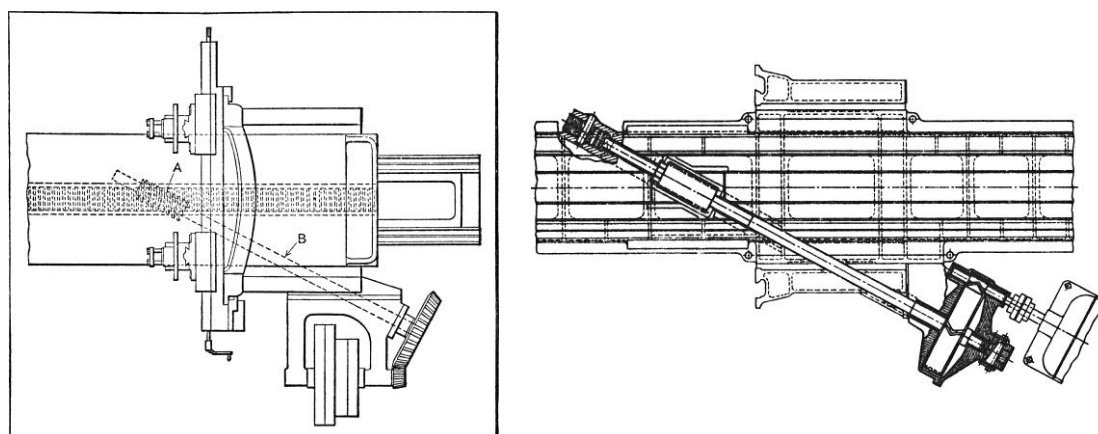
図Ⅱ-2-39 Sellers のロッド・プレーナ



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.1961 Fig.4395.

なお、本機に限らず、Sellers 社製プレーナは一般的な平歯車列とラックとを用いる駆動法ではなく、長いダイヤゴナル・シャフト B を用いてテーブル下のラックに噛合うウォーム A を回転させる方式(Sellers drive : 図Ⅱ-2-40)を特徴としていた。Spiral-geared Planer Drive とも呼ばれたこの方式のメリットはウォームの歯 8 箇所が常にラックと噛合うため、歯面圧力が軽減され、作動の円滑さと高い耐久性とが得られる点に見出され、他社製品でも大形のプレーナにはしばしば採用されるようになった⁴⁶。

図Ⅱ-2-40 Sellers drive 2 例(ベルト駆動と電動機駆動)



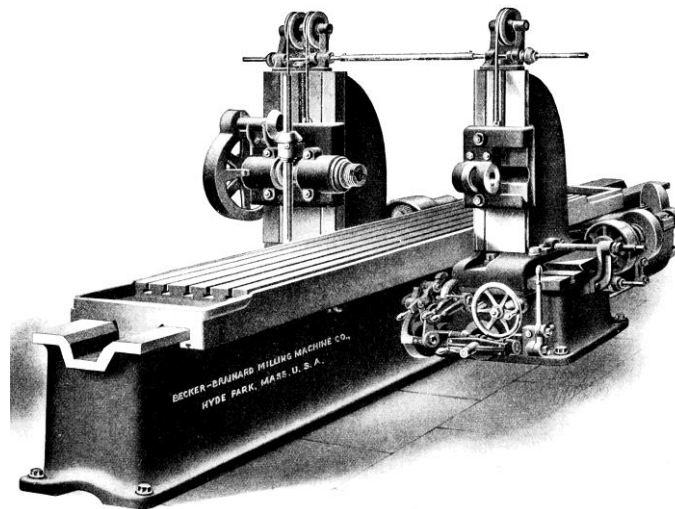
⁴⁶ cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V pp.96~97.* 電動機直結単独運転の大形機に係わる例として G., Schlesinger/森・若林・鈴木譯『工作機械』第二巻 講義編Ⅱ, コロナ社, 1943 年, 334 頁, 第 439 圖(Sellers)を挙げることができる。

左： *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol.Vp.97 Fig.4.

右：長谷川編『工作機械設計資料』292頁，第571圖。

図Ⅱ-2-41 はロッド・プレーナを代替したと思われる機械の一つ，Becker-Brainard Milling Machine Company(米)製の Planer Type Milling Machine，即ちプラノミラ(Planomilling Machine)である。アメリカにおいてはこの種の2コラム型横軸フライス盤を特に Horizontal Milling Machine と呼ぶことがあった。

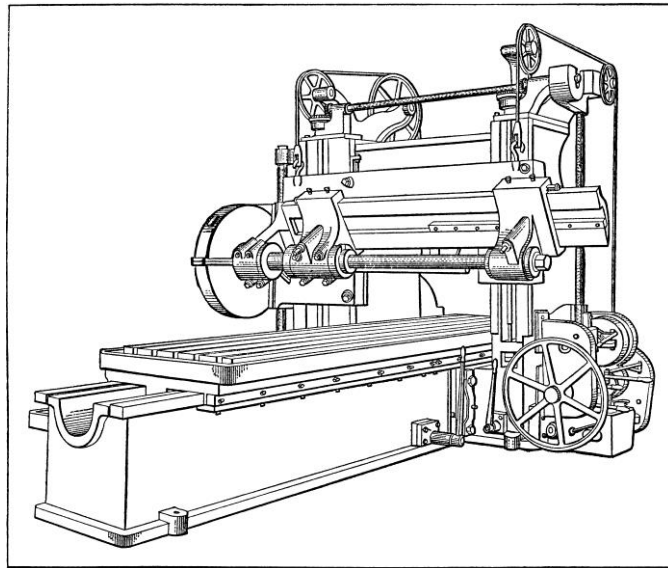
図Ⅱ-2-41 Becker-Brainard Milling Machine Company 製横軸プラノミラ



from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.393.

もつとも，本機はロッド類の切削加工に適した背の低い平型フライスとプレーナとの合成品となっており，高さ32in.，テーブル幅26in.，同有効長さ10ft(812.8, 660.4×3048mm)という低く細長い体躯を有し，主軸は20段変速，テーブル送りは8段変速であった。図Ⅱ-2-42にこれを大形化したヨリ汎用的な門型横軸の Horizontal Milling Machine を例示しておく。当然ながら，ロッド類もまた平面研削盤によって仕上げられた。しかし，ここでも特殊との形容に値するような工夫の類はなかったようである。

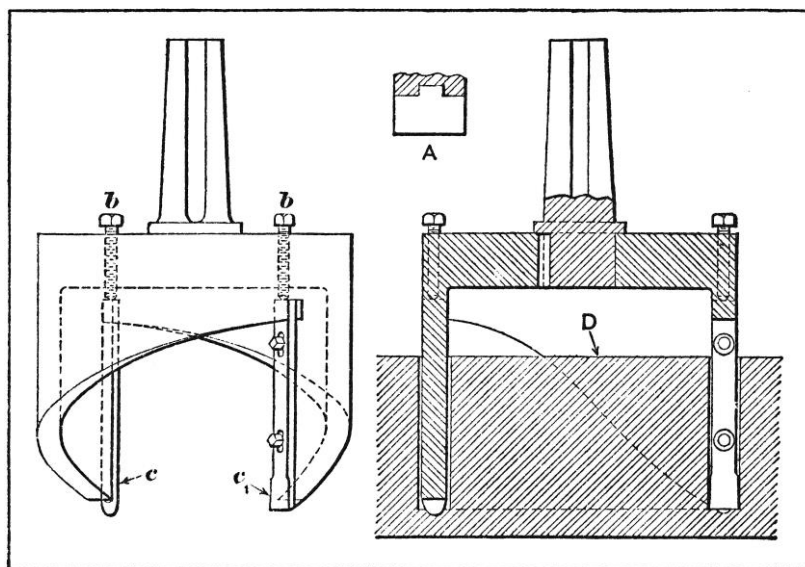
図Ⅱ-2-42 大形の Horizontal Milling Machine



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.394 Fig.4.

ロッド類の端部への穿孔は通常、トレパニングによった。トレパニングは元々、ホールソーを用いる外科の開頭手術に由来する用語である。図Ⅱ-2-43は20世紀初頭のアメリカで用いられていたトレパニング工具の例を示す。c、c₁は嵌め込みカッタで、抑え金とネジでAのように溝を有する嵌入部に固定され、切れ刃の突出しはネジb、bによって定められた。

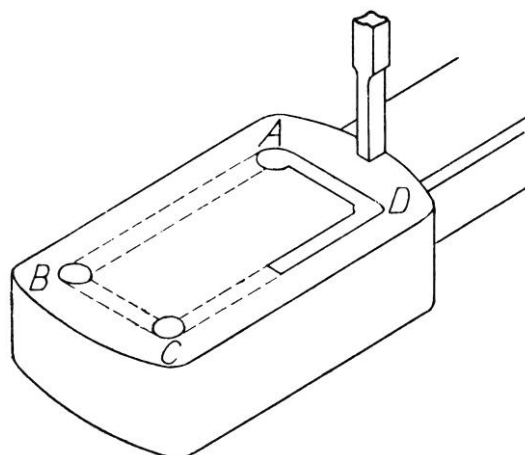
図Ⅱ-2-43 ロッド穿孔用トレパニング工具



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.235 Fig.18.

また、軸受メタルやクサビを収容するコネクティングロッド大端部はムクの一体物に鍛造しておき、外周をフライス加工、中はくり抜きによってストラップを成形する工作法が一般の採られていた。くり抜きにはボール盤で2ないし4個の導孔を明けておき、スロットを用いて孔を繋ぐ工法が採られていた(図Ⅱ-2-44)。

図Ⅱ-2-44 コネクティングロッド大端部のスロットによるくり抜き(ストラップの成形)



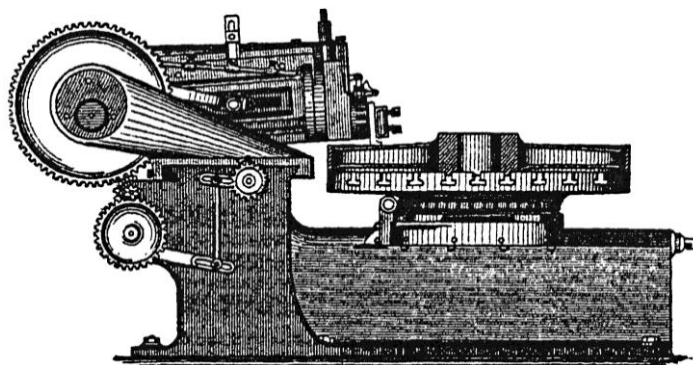
山口『平削盤，形削盤及堅削盤仕事』65頁，第108圖。

小端部には丸孔が穿孔された。ドリリングされた丸孔の内面仕上げにリーマに代ってホーニングが汎用されるようになった点についてはすでに述べた通りである。

5) 車輪および車軸関係の工作機械

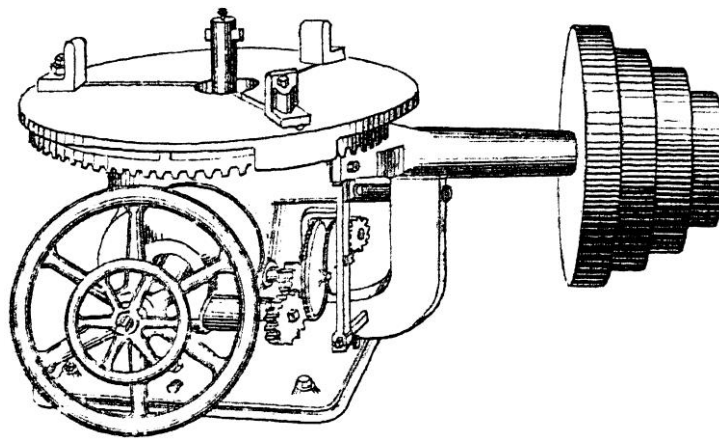
図Ⅱ-2-45はWheel-Spoke Plaining-Machineと呼ばれた^{ホイールセンタ}輪心工作専用機である。これはしかし、その名とは裏腹にプレーナではなく割出しテーブル付きの特殊なシェーパーで、リムからハブ方向に向かっての傾斜付与機能を有するのみならず、スポーク表面に上に凸の横断面形状を与えるための切込制御機構が体现されていた。

図Ⅱ-2-45 Wheel-Spoke Plaining-Machine



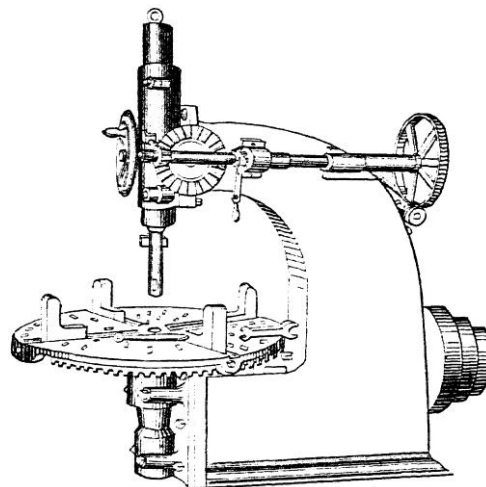
大径車輪の車軸圧入孔の中ぐり用にはそれに相応しい中ぐり盤が用意されていた。図Ⅱ-2-46は Sellers のそれで、特異な形姿を有する一種の堅旋盤である。本機には最大直径36in.(914.4mm)までのユニバーサル・チャックを装着可能で、中ぐり可能なワーク自体の最大径は6ft.(1828.8mm)に達した。回転テーブルは熱い切粉の早期落下を促す設計となっていた。

図Ⅱ-2-46 Sellers の車輪中ぐり盤



また、図Ⅱ-2-47も車輪など大径ワークに適した一般的な堅中ぐり盤の一例を示す。ここでも切粉落しは重要なポイントであった。

図Ⅱ-2-47 大径ワーク用堅中ぐり盤の一例

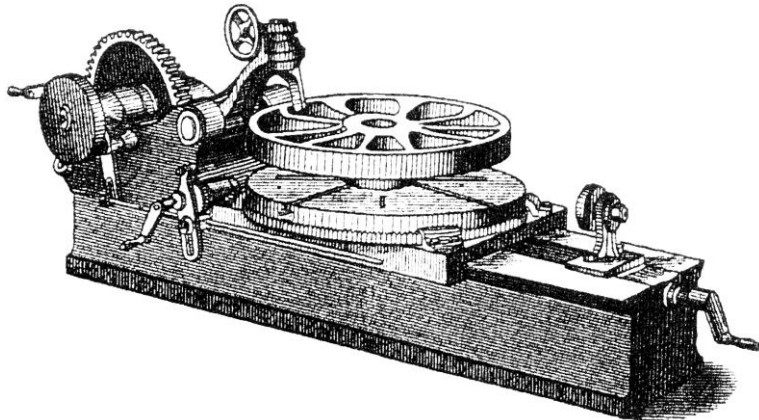


ditto., p.340 Fig.814.

車輪のリムの側面や外周面は通常、堅旋盤によって仕上げられた。この点はリムに焼嵌めされるタイヤの中ぐりについても同じであった⁴⁷。

リムのスポーク間内周面仕上げに関しては **Wheel-finishing Machine** なる専用機まで用意されていた。図Ⅱ-2-48 は科学玩具の水飲み鳥(平和鳥)を想わせる Webb(英)の機関車用車輪専用切削機械で、実態としてはクランク式の曲線削りスロッタであった。この機械によってリム当該部表面の半径方向断面は円弧状へと仕上げられた。かくて、愛嬌満点の本機はここに紹介された一連の車輪専用工作機械群ともども機関車の高速化・軽量化に寄与したワケである。

図Ⅱ-2-48 Webb の Wheel-finishing Machine

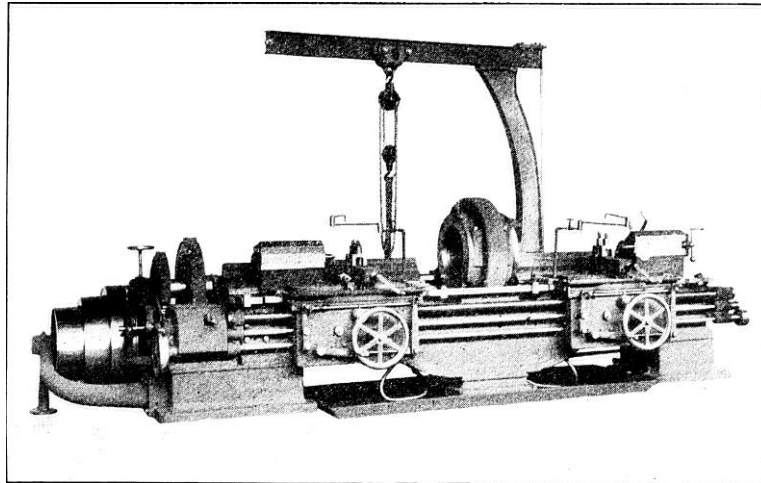


Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.2766 Fig.7182.

軸物の旋削には当然ながら普通旋盤が用いられた。しかし、一般に車軸についてはその旋削に特化した車軸旋盤が用いられようになっていた。車軸旋盤の画像として 20 世紀初頭のアメリカ、Lodge & Shipley Machine Tool Company 製の Rapid Reduction Double-End Axle Lathe の製品を掲げておく(図Ⅱ-2-49)。Center Drive と称して真ん中にワークを掴んで回すヘッド・ストックが位置しており、その左右に往復台とテイル・ストックとが各 2 個、備えられていた。主軸回転数と送りは 6 段階制御。

図Ⅱ-2-49 Lodge & Shipley Machine Tool Co.製 Rapid Reduction Double-End 車軸旋盤

⁴⁷ タイヤの技術史については拙稿「本邦鉄道車両用タイヤ技術史」が近日、公開される。



from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.410.

車軸のジャーナル部や車輪座(ハブへの圧入部), ピストン棒, クランクピンなどは旋削後, 円筒研削盤によって研削仕上げされた. 円筒研削盤は最も単純に表現すれば旋盤の往復台を砥石軸付きの砥石台に置換えた機械である. もっとも, 砥石車はバイトと違って大きく邪魔になるため, 砥石台は往復台とは逆にベッドの向う側に設置される. かくすれば, 工作点の視認も容易となる. また, 砥石車の切込みは必ず砥石台によるが, 送りの方式は旋盤と同様, 砥石台によるものとテーブルによるものとに分たれる.

図 II-2-50 は 20 世紀初め, アメリカの機関車工場において大活躍した Norton Grinding Company(米: 世界最大の砥石メーカー, Norton Abrasives として現存)製大形円筒研削盤である. 最大心間距離は 96in.(2438.4mm), 研削可能な最大ワーク径は 18in.(457.2mm)にも達し, 砥石車としては直径 24in.(609.6mm), 幅 2in.(50.8mm)のものが使用された. 本機はテーブル往復型で, 砥石車は定位置にて回転し切込みを加えるだけであった. 軸物ワークの長さに応じて写真の例では 4 個, 図では 6 個の移動振れ止めがセットされている. テーブルのトラバース速度は粗研削では早く, 仕上げ研削では遅く自動制御された.

図 II-2-50 20 世紀初頭の Norton Grinding Company(米)製大形円筒研削盤

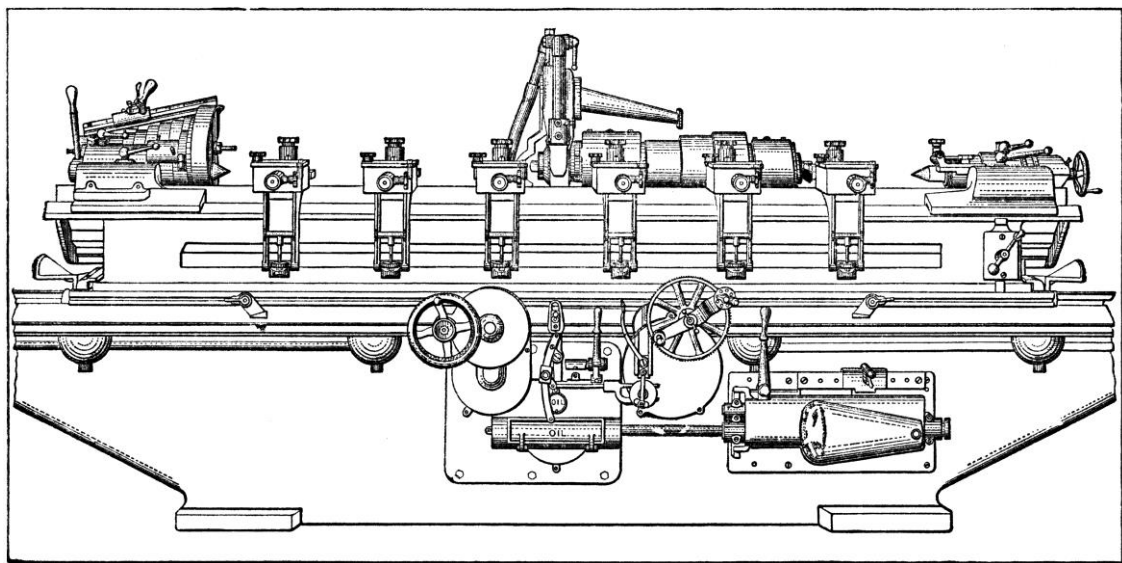
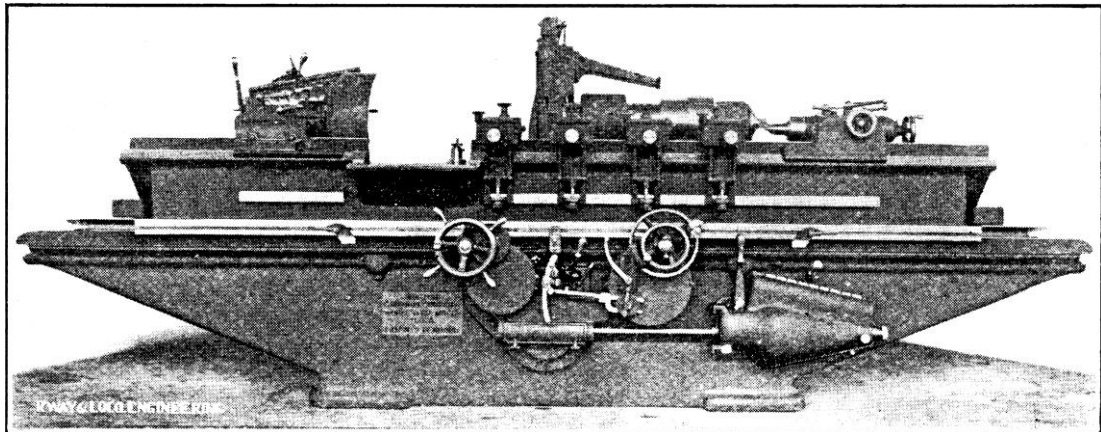
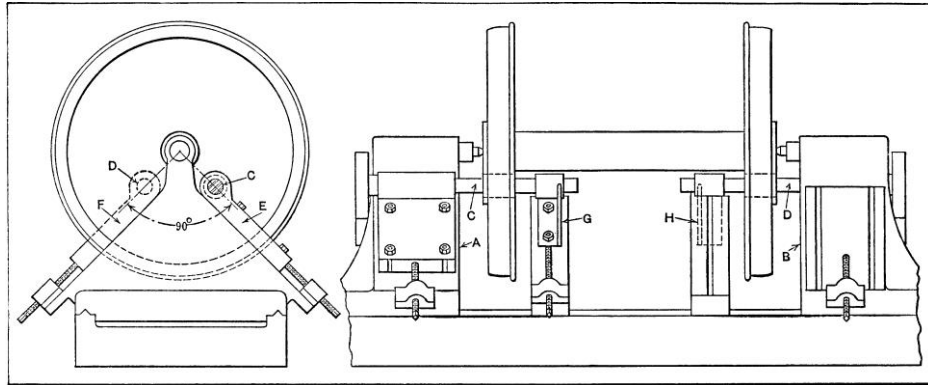


写真 : from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.393.

図 : *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol.III, p.435 Fig.4.

さて、2気筒蒸気機関をいかなるクランクピン位相からも自律起動可能にしておくためには主動軸、つまりクランク軸に取付けられた2つのクランクピンの位相を 90° ズレさせておかねばならない。蒸気機関車におけるように遠く隔たる左右動輪クランクピン孔の位相と直径とを高精度に定める所作は案外、困難な技である。図II-2-51はこれを容易に実行するための専用機、Quartering Machineの原理を示す。動輪軸は直角二等辺三角形の頂角に位置する左右のセンタによって支持され、この大きな2つの直角二等辺三角形の両辺上には頂角を共有する小さな直角二等辺三角形を作る恰好で中ぐり棒の中心C、Dが左右振分けにセットされている。普通は進行方向左側のクランクピンを 90° 進めてやるが、機械の仕様としては中ぐりヘッドの取付け方次第で左右何れを進めることも可能となっている。

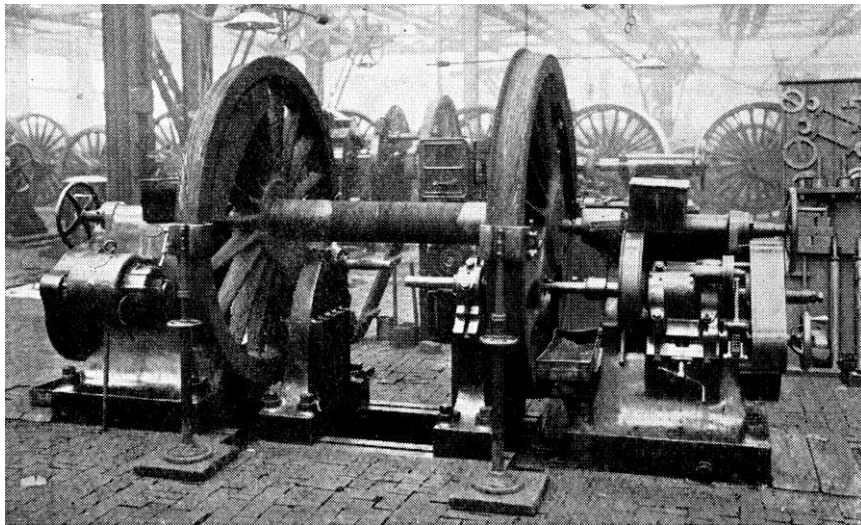
図II-2-51 Quartering Machineの原理



from *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*, Vol. V, p.227 Fig.4.

図Ⅱ-2-52は専用水圧プレスを用いた左右同時圧入による輪軸組立の後、動輪に明けられたクランクピン圧入用の下孔が正しく左右90°の位相を持つ正寸の孔となるようクウォータリング・マシンによって中ぐり仕上げされる状況を示す⁴⁸.

図Ⅱ-2-52 Quartering Machine によるクランクピン孔中ぐり

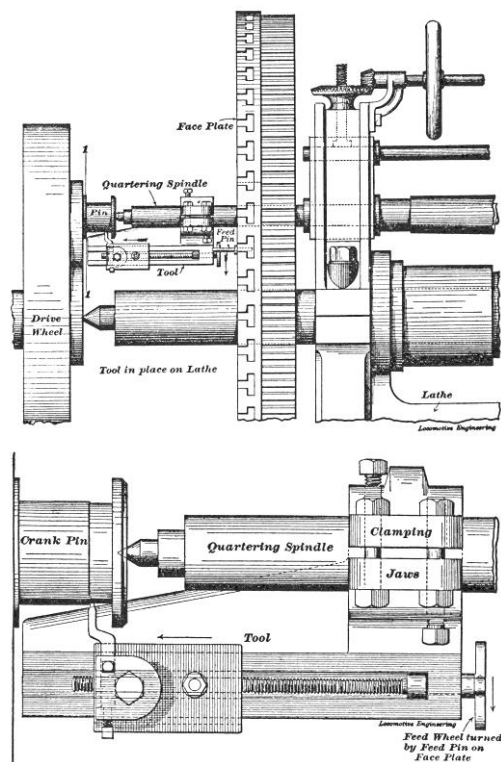


from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*, p.55.

なお、クウォータリング・マシンは摩耗したクランクピンの削正にもも通られた。図Ⅱ-2-53はこの種の使用状況を示す。

⁴⁸ 鉄道輪軸および車軸一般については拙稿「20世紀前半アメリカの鉄道輪軸について」, 「1930~60年代前半における本邦鉄道車軸とその折損事故について」, 参照(何れも→IRDB).

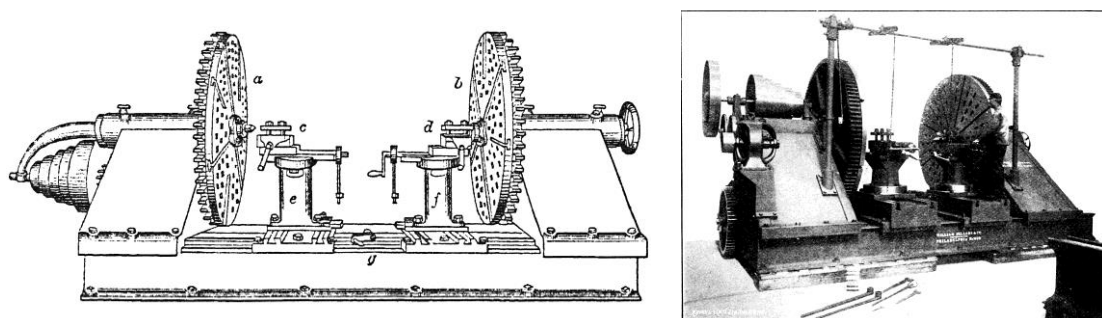
図 II-2-53 Quartering Machine によるクランクピンの削正



Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.101 Figs. 1, 2.

車輪は通常、輪軸に組込まれた後、タイヤの踏面を車輪ないし動輪旋盤によって成形された。図 II-2-54 左は旧式動輪旋盤の例を示す。この種の旋盤においては車輪 1 枚のみの旋削も可能であった。同右は電動機による運転も可能な 20 世紀初頭, Sellers の 100in.(2540mm) 動輪旋盤で、クウォータリング・ヘッドもオプション装備可能となっていた。

図 II-2-54 動輪旋盤 2 例



上 : *Knight's American Mechanical Dictionary*. Vol. I , p.494 Fig.1172.

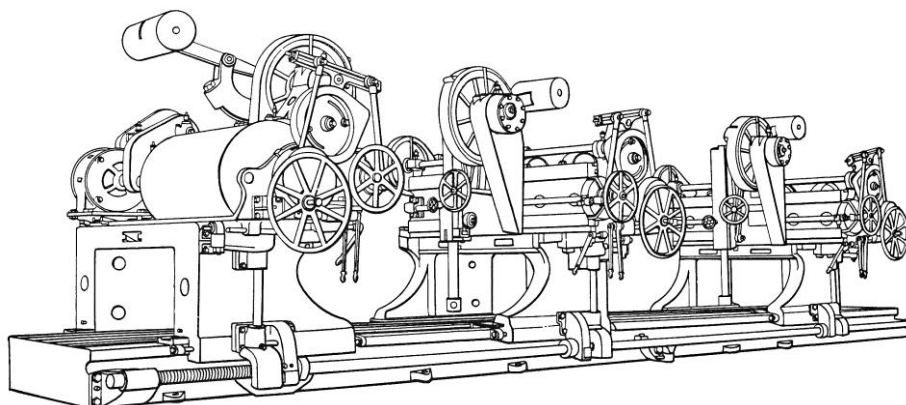
下 : from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.387.

6) 台枠関係の工作

King 級はヨリ長くという蒸気機関車強大化の歴史から観れば極限には程遠いが、それでも長い台枠とこれに支えられた長いボイラとを有する強力かつ近代的な 3 動軸機関車であった。この長大なワークとその専用加工機について時系列的に瞥見して行こう。

図 II-2-55 は 20 年代前半のアメリカで使用されていた 3 連の主台枠(台枠サイドメンバ)用スロットで、動軸の軸箱(陸船用機関における主軸受)を収容する軸箱守を取付ける切欠部“ \square ”の縁を仕上げるための専用機であった。機構的にはクランク・スロットのようである。主軸を持たぬスロットだけに、これが英語で何と呼ばれたかと訝^{いぶか}りたくもなるが、Three-Head Locomotive Frame Slotter と呼ばれていた。左端の Head だけ機構配置が一部、逆になっているのは整備の便に配慮した結果であろう。

図 II-2-55 アメリカの Three-Head Locomotive Frame Slotter

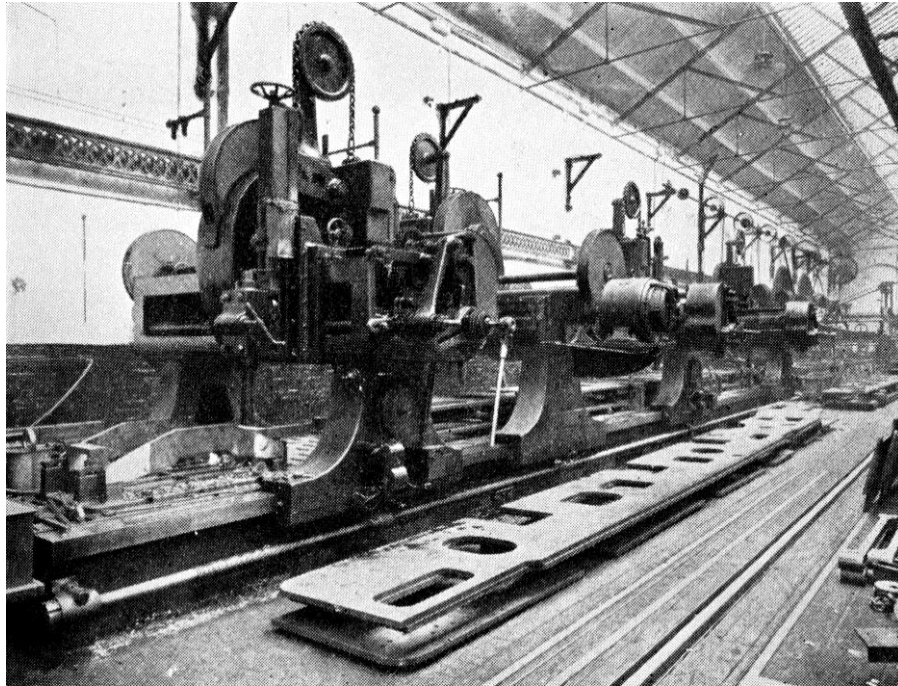


Locomotive Cyclopedic of American Practice. 7th., ed., N.Y., 1925, p.1079.

手前下に位置する送りネジのようなモノは回転せず、各コラムに付属のナットの方を回してそれぞれの位置決めを行う趣向であったように見受けられる。

図 II-2-56 は 20 年代後半のイギリスにおいて King 級機関車の板台枠を工作した主台枠専用多連スロットである。こちらも機構的にはクランク・スロットのようである。King 級の板台枠用鋼板はサイズ 41ft. 4in.(1260mm)×3ft. 6in.(1067mm)で板厚 1 1/4 in.(31.75mm)であった。先ず、打抜きによって大まかな成形と肉抜きとを施された板は焼鈍、矯正の後、6~10 枚重ねにしてこの機械にかけられた。1 両の機関車でも動軸間で軸距を異にする場合があり、機関車の型式によっても動軸の軸間距離は異なることが多い。固より、King 級のような 3 動軸機もあれば 4 ないし 5 動軸機も存在した。本機は 4 動軸にまで対応可能であったように窺える。

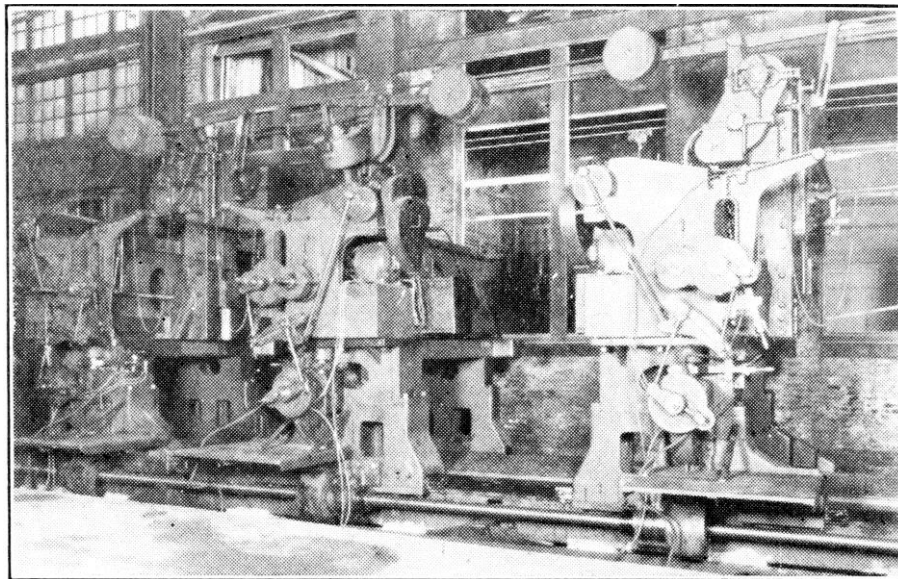
図 II-2-56 台枠専用多連スロットと King 級機関車の板台枠



from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.48.

図Ⅱ-2-57 はアメリカにおける同時代の主台枠専用スロッタで、3連の機械である。こちらはクランク・スロッタではないらしいが不詳。Triple-Thread Slotter と呼称されていた。

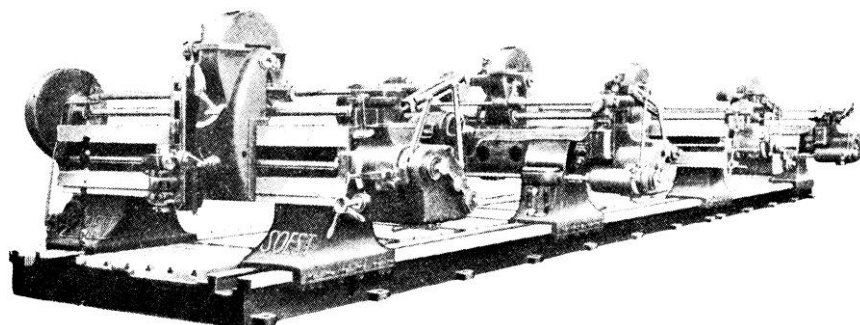
図Ⅱ-2-57 アメリカの Triple-Thread Slotter



Locomotive Cyclopaedia of American Practice. 9th., ed., 1930, p.1161, Fig.2847.

図 II-2-58 は同じ趣向のドイツ製 4 連スロットで、メーカーは件の Soest. こちらは 4 動軸機用に詠えられたもので、'30 年代前半までには提供されていた製品である.

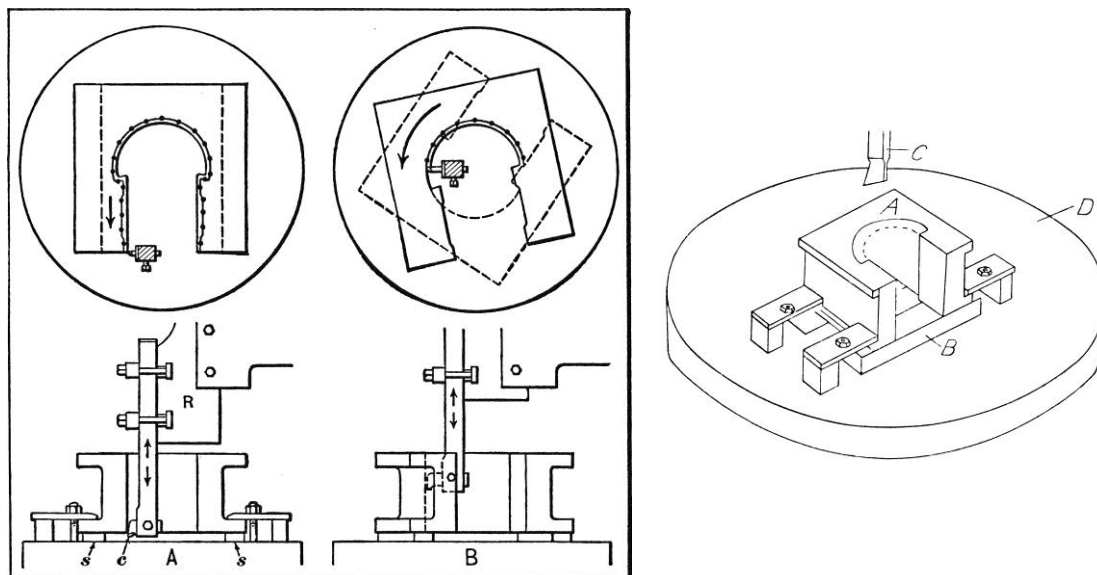
図 II-2-58 Soest の機関車台枠 4 連スロット



山口『平削盤，形削盤及堅削盤仕事』65 頁，第 109 圖.

なお，軸箱守に收容される軸箱は動軸を支持する軸受メタル(青銅製シェルにホワイトメタルを鑄込んだもの)を担持する鑄鉄製部品である．そこには軸を跨ぐ平行部と青銅製シェルを嵌め込まれるべき半円筒部とから構成される溝が貫通している．この溝は一般にプラテン上に固定された回転テーブルにワークをクランプし，ごく普通のスロットを用いて切削された．図 II-2-59 はこの工程を概念的に示す．

図 II-2-59 回転テーブルとスロットによる軸箱鑄物への異形溝切り

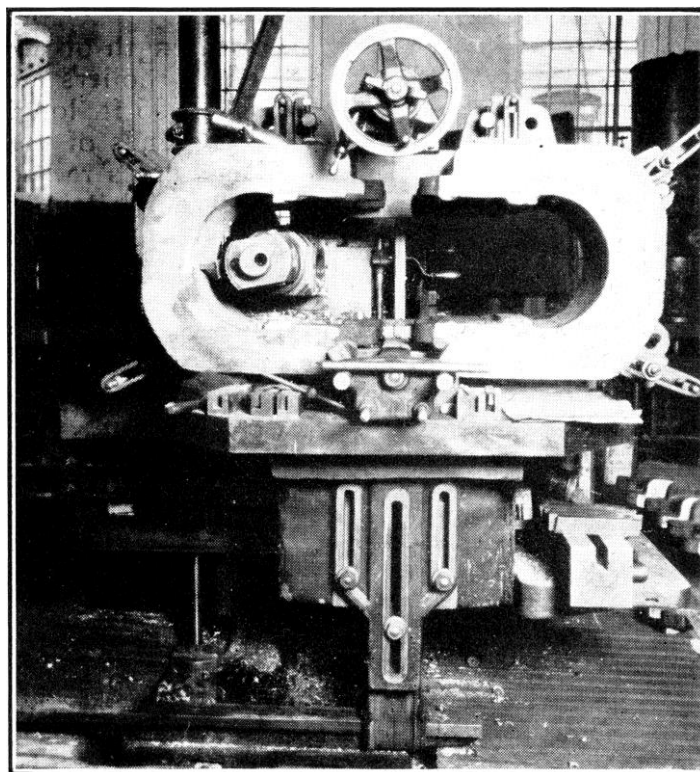


左 : Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement., Vol.V, p.383, Fig.2.

右 : 山口『平削盤，形削盤及堅削盤仕事』61 頁，第 102 圖.

図Ⅱ-2-60はスロッタならぬ専用の Draw-Cut Shaper を用いて動軸箱を2個，ワンチャッキングで工作してしまうアメリカ工場での工作状況を示す．この機械を得意としたメーカーは Morton Manufacturing Company であった．シリンダサドルを削っていた大形機(図Ⅱ-15)も同社の製品であったかと思われる⁴⁹．

図Ⅱ-2-60 Draw-Cut Shaper により動軸箱2個をワンチャッキングで工作する状況



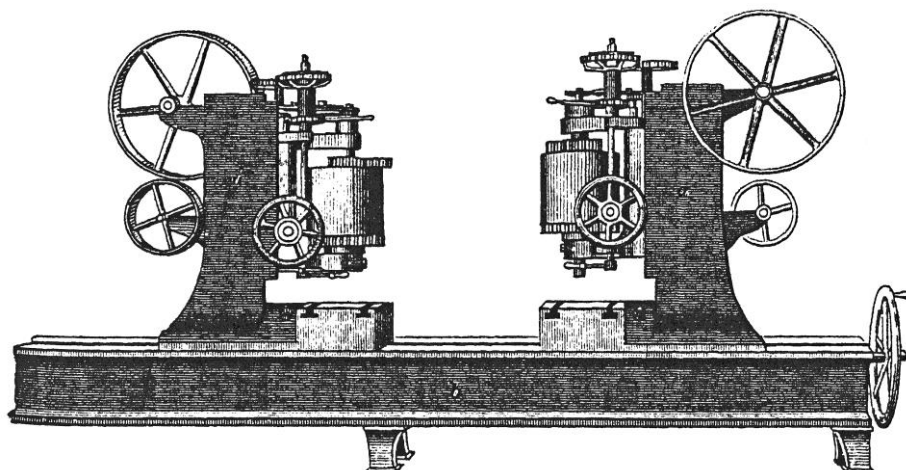
Locomotive Cyclopedia of American Practice. 9th., ed., 1930, p.1160, Fig.2845.

主台枠にはまた，後々の組立のために多数の孔が明けられなければならぬ．機関車に係わる工作ではないが，19世紀後半のアメリカにおいては長いワークに対する繰返しドリリングの孔ピッチ精度を高めるため，前掲の板台枠専用スロッタと似た発想を体現する連軸(単軸多頭)盤として Double Traverse-Drill なる専用機が開発されていた(図Ⅱ-2-61)．これは多数のリンクを縦通材に対してピン・ジョイント結合し，連続トラスを構成して行くタイプの吊橋々桁の，そのリンク両端部にピン孔を穿孔するための専用ボール盤で，多数のワークに孔ピッチ精度を担保しつつ同時穿孔することを使命とした．2つのポストはベッド上でその間隔をある範囲で変えて固定されることが出来た．左右のドリリング・ヘッドはそれぞれのドラム間に水平に渡されたベルトを以って駆動された．その送りネジが右ネジと左ネジと

⁴⁹ cf., *Locomotive Cyclopedia of American Practice*. 10th., ed., N.Y., 1938, p.1126.

を持つ一本物であったのか、左右独立式であったのかについては残念ながら図の左端がカットされているため判定し得ない。

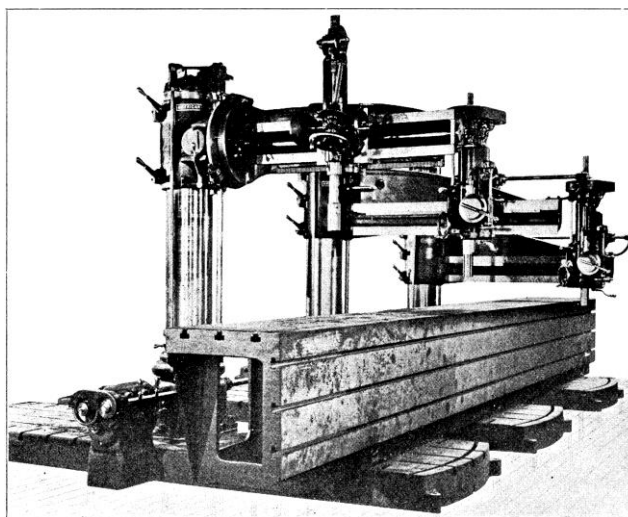
図 II-2-61 Double Traverse-Drill



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.2619 Fig.6625.

その後、アメリカにおいては主台枠への穿孔を主たる目的としてラジアルボール盤を3台並べて共通のテーブルを与えた、ある意味では Double Traverse-Drill より退行的とさえ形容され得る一種の専用機が提供されていた事蹟が確認される(図 II-2-62)。

図 II-62 American Tool Works Co.の3連ラジアルボール盤

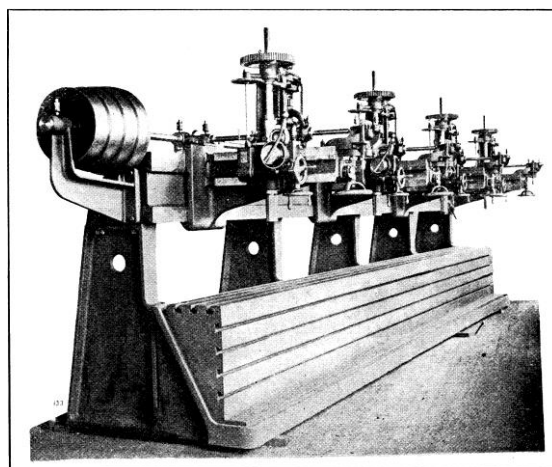


Locomotive Dictionary. 1st., ed., N.Y., 1906, p.456 Fig.4917.

一方、同じく 20 世紀初頭には Double Traverse-Drill の発展・機関車工作適用型とでも呼べそうな連軸(単軸・多頭)盤が開発されている。それが機関車製造工場において用いられ

ていた台枠穿孔機， Brickford Multiple Drill である(図Ⅱ-2-63)．写真の機械はモントリオールの Locomotive & Machine Co.に納入された個体で，1本のレバーを扱うことにより4つのスピンドルを同時に操作可能で，当然のこと，台枠穿孔以外の幅広い用途にも適合的であった．

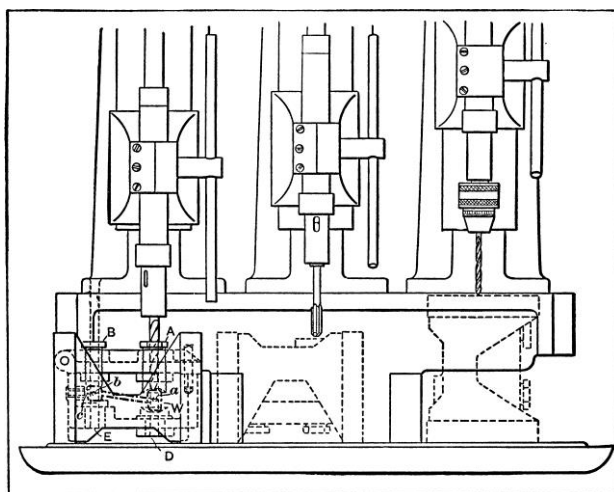
図Ⅱ-2-63 アメリカ製機関車台枠穿孔機 Brickford Multiple Drill



from Angus Sinclair Company, *Twentieth Century Locomotives*. p.399.

この種の連軸ボール盤(Multi-spindle drilling machine)が図Ⅱ-2-64のごとく逐次的穿孔工程にも使用されたことは言うまでもない．箱型ジグに収められたワークには左主軸によりガイドブッシュ A,B を用いて孔 *a*, *b* が穿孔され，次にジグを反転させ，中央主軸により E, D をガイドにしてそれらをリーマ仕上げされる．右の主軸ではジグを横倒しにして *c* が穿孔される．ワークはリンクの類であったらしい．

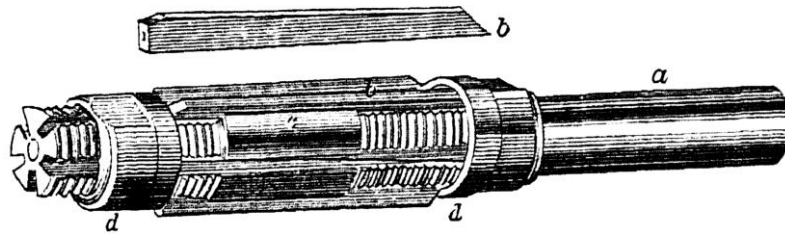
図Ⅱ-2-64 連軸(単軸・多頭)ボール盤による逐次的穿孔工程



King の板台枠の場合、主台枠を台枠の完成形に組立てるべく穿孔される孔はこれを 2 枚ペアに重ね合わせた状態で明けた上、リーマ仕上げされた。それらを同じくリーマ仕上げされた横桁の孔と重ね、結合部材としてリーマボルトまたはリベットが文字通りハンマで固く打込まれた。King 級機関車における結合材はリーマボルトであったかと想われる⁵⁰。

なお、リーマついでに現物合せ方式による組立全盛期の利器であったと思しき Expanding Reamer(expanding mandrel for reaming)について触れておきたい。図 II-2-65 がそれで、アーバ *a* には 5 本の長手方向溝が切られており、その縦断面は斜面をなしている。これに嵌め込まれる切削工具 *b* の底面もこれと合致する斜面をなしており、その切れ刃部の両端は斜めに切落されている。

図 II-2-65 Critchley の Expanding Reamer



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. II, p.1381 Fig.3040.

a のカッタ支持部前後にはネジが切られ、溝の中に収まるカッタは保持用ナット *d* により前後から拘束されている。従って、*d* を緩め、カッタの軸方向位置を変化させれば切れ刃の回転半径はある範囲で任意に指定され、孔径を任意の寸法に仕上げることができる。それはあたかもホーニング・ヘッドのようなシカケであった。

この“ひろげ心棒付きリーマ”の台枠組立における使用実績の有無についてはともかく、台枠組立にリベット、ボルトのいずれを用いるにせよ、そこでは就役後、結合部にガタを生じさせぬことが肝要である。リベットに関しては精度を担保するために船殻組立や建築方面とは異なり、冷間カシメ、所謂“生絞め”のみが実施された。そして、当然ながら、これに用いられるリベットには軟らかい鉄が用いられねばならなかった⁵¹。

⁵⁰ 機関車組立における各種リーマボルトの使用例については拙稿「“技術の生命誌” 試論」, 参照(→IRDB)。なお、この種の“ひろげ心棒付きリーマ”は修理用部品など少量生産向けに永らく使用された。機械製作法研究会『最新 機械製作』養賢堂, 1974年, 210~211頁, 参照。

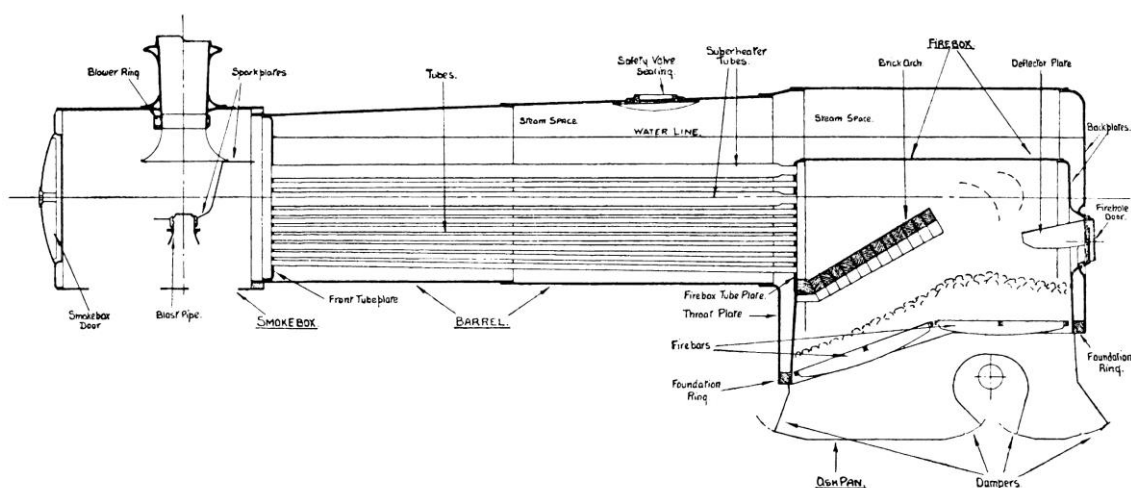
⁵¹ 森彦三・松野千勝『機関車工学』中, 大倉書店, 1910年, 421~423頁, 参照。

錬鉄こそがその材料であった。20世紀初頭ともなれば機械材料としての錬鉄は軟鋼に大方、置換されていた。しかし、その溶接・鍛接性が優秀であることに加え、強度自体は低いにも拘らず疲労強度が高く耐蝕性に富むことから、信頼性を第一とする用途にはなお錬鉄が愛好されており、スウェーデンとイギリス Yorkshire(Lowmoor や Farnley)は高級錬鉄の、イギリス Staffordshire は普通錬鉄の代表的産地として知られていた。当時、リベットや鎖、船用機器の材料として錬鉄は未だ広範に用いられていた⁵²。

7) ボイラ関係の工作

続いてリベット締めのかいとの言うべきボイラに眼を転じよう。King 級機関車のボイラは図 II-2-66 のような構造を有する煙管ボイラであった。罐胴部を火室に向って太くして行くのが 1903 年以來、GW 鉄道の伝統となっていた。これは最高温部＝火室回りの水量を多くし、かつ、空焚きの危険度を低下させるためと謳われていた。

図 II-2-66 King 級機関車のボイラ



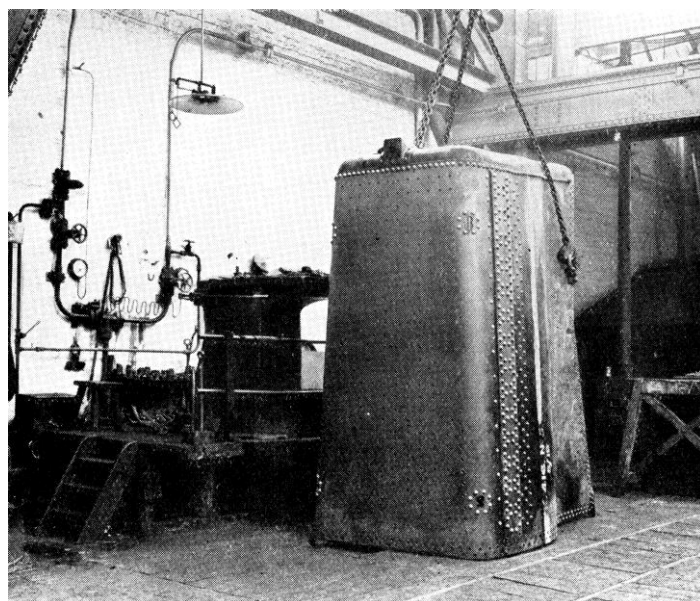
from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.61.

図 II-2-66 右方、平面がちの構成を取るボイラ火室は内火室に外火室を被せる 2 重構造を呈していた。外火室は罐胴後端との接合部を有するノド板、3 分割の側板、後板から成り、それらはすべて軟鋼製であった。ノド板(3/4in.[19.1mm]軟鋼板製)と後板は 650t 水圧プレスにより熱間プレス成型(→余部ガス切断)され、側板は罐胴部とともに曲げロールによって冷間成形され、リベット締された。GW 鉄道におけるボイラ板へのリベット孔穿孔法は治具の上に組立てた状態でのドリリングによったが、この仮組立に先立って要所に仮止め用ボルト孔が明けられた。

⁵² cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol.VI, N.Y., 1929 pp.555~558.

図Ⅱ-2-67は水圧リベッティング・マシンによる鋼製外火室の組立状況を示す。側板の接合部は突合せ、目板を当ててリベット締めされている。リベット結合においては孔に打込まれるリベットのせん断強さと無傷で残った板の引張強度とが等しくなるようなリベット径と孔ピッチと板厚との組合せが選ばれる。リベット本数が不足すれば応力分散を図るため、リベット孔は千鳥2~3列に明けられる。

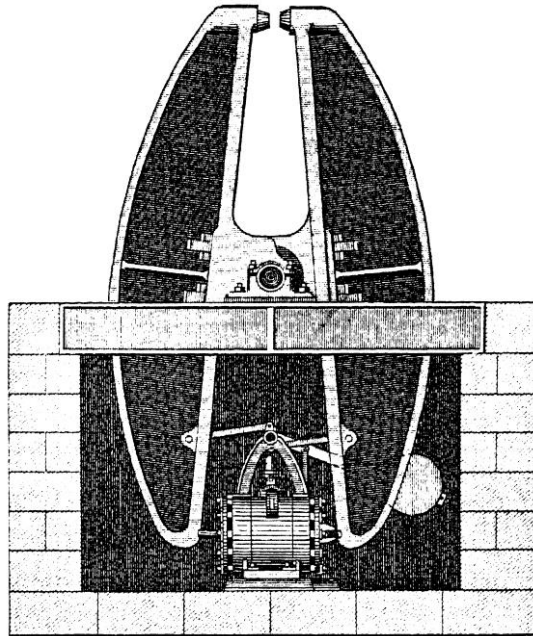
図Ⅱ-2-67 水圧リベッティング・マシンによる鋼製外火室の組立



from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.72.

図Ⅱ-2-68は参考までに掲げる一般的な水圧式リベッティング・マシンの断面構造例を示す。ただし、本機は両利きのリベッター・ヘッドを持つ Double-pressure 型のそれである。

図Ⅱ-2-68 一般的な水圧式リベッティング・マシンの断面構造



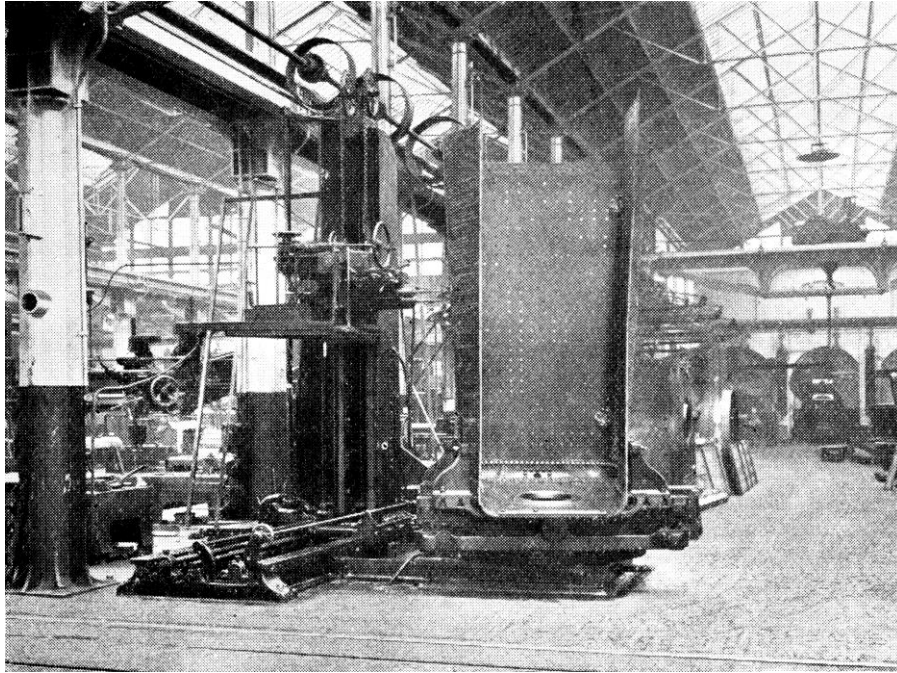
Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.1949 Fig.4354.

イギリスの機関車における内火室は通常、火炎による腐食が少ないとの理由から銅製となっていた。その側板は曲げロールを用い、一体モノとして冷間成形された。これに熱間プレス成型(→余部鋸切除)された火室管板、内火室後板をリベット締めすれば内火室は出来上がる。

上述の通り、火室は内火室に外火室を被せる2重構造となっていた。しかし、内外火室間の空間は平板状を呈するため、著しく耐圧性に欠ける。このため、それらの圧力変形は扣ステイと呼ばれる一種のネジを多数、内外火室間に渡すことによって抑え込まねばならなかった。扣を打つためには夥しい数の穿孔とタップ立てが必要となる。

図II-2-69は大きな横型ボール盤による外火室側板への扣孔穿孔状況を示す。同じ機械はリベット孔の穿孔にも使用されていたかと想われるが、扣孔の穿孔においてはワークが旋回および並進自在なテーブル上に固定され、作業能率増進が図られている点がミソであった。内火室の扣孔は内外火室組立後、手持ちのニューマチック・ドリルを用いて穿孔された。

図II-2-69 横型ボール盤による外火室への扣(ひかえ)孔穿孔



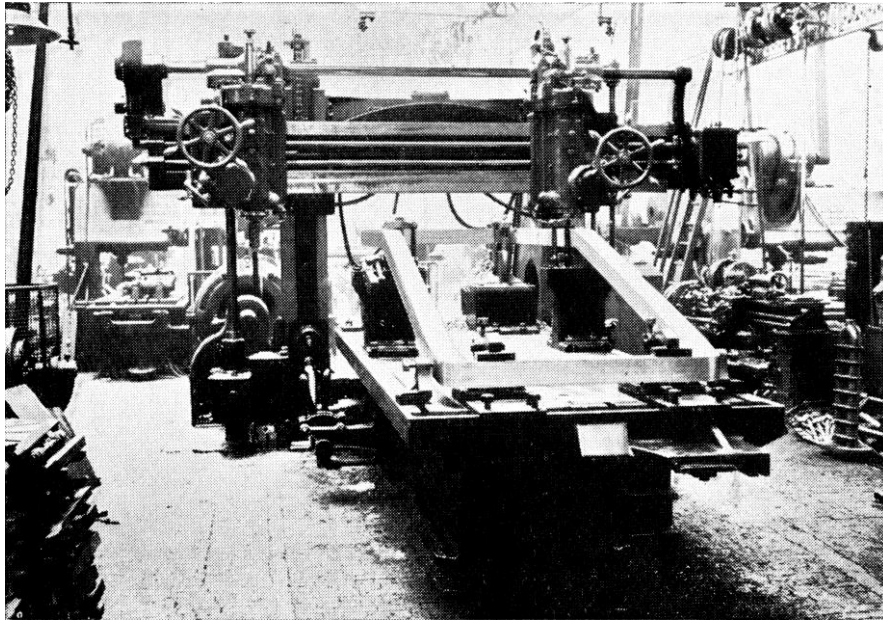
from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.72.

なお、写真のワークにはまだノド板が取付けられていない。これは内火室を次に観る底枠を仮止めされた状態でこの姿勢を保った外火室の中に上から吊り込むためである。

内外火室間に構成される空間をその最下部にて塞ぐ部材を底枠(Foundation Ring ないし Mud Ring)と称する。これは $4 \times 3\frac{3}{4}$ in. (101.6×95.25mm) の最良のヨークシャー錬鉄棒を四角く曲げて屈曲させたモノを機械仕上げしてあつらえられた部品である。ちなみに、高温と凝縮・沈殿して来る不純物に曝される機関車ボイラ底枠に錬鉄を用いたのはその耐蝕性を見込んだ所作であったかと想われる。

図Ⅱ-2-70 は底枠の内側面をフライス加工している状況を示すが、機械は双頭のプラノミラである。こちらは縦フライス盤とプレーナとの合体物であり、プラノミラと言えばこのタイプを指すことが普通である。

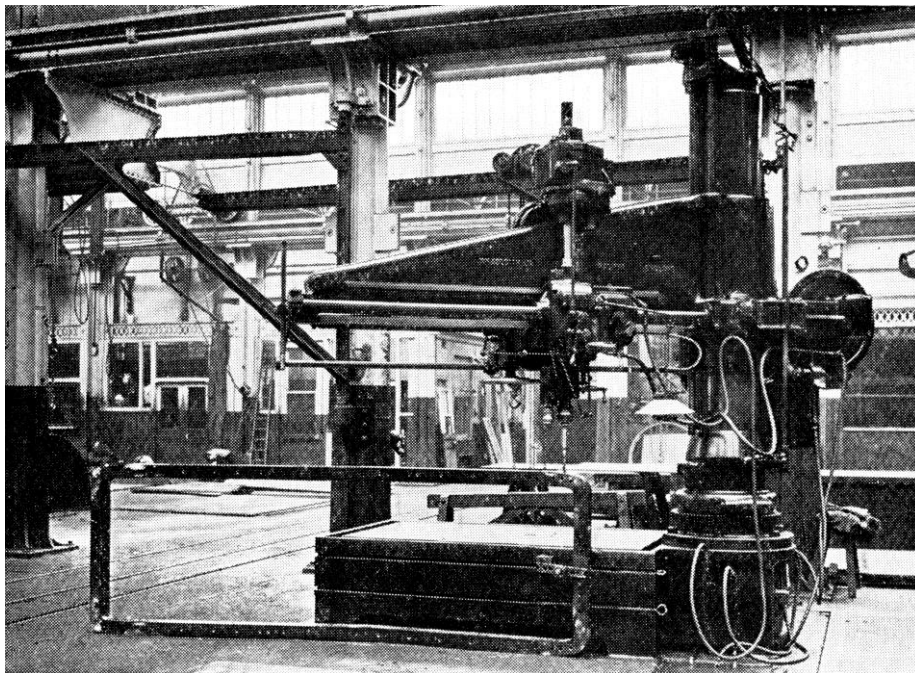
図Ⅱ-2-70 プラノミラによる底枠内側面のフライス加工状況



from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.73.

図 II-2-71 に 8ft.ラジアル・ボール盤(旧くは“風見形ボール盤”などと称されていた)による底^{マッド・リング} 枠への穿孔状況を示す. ワークはテーブルの手前側面にクランプで固定されているが, これは単に撮影の目的からであろう. .

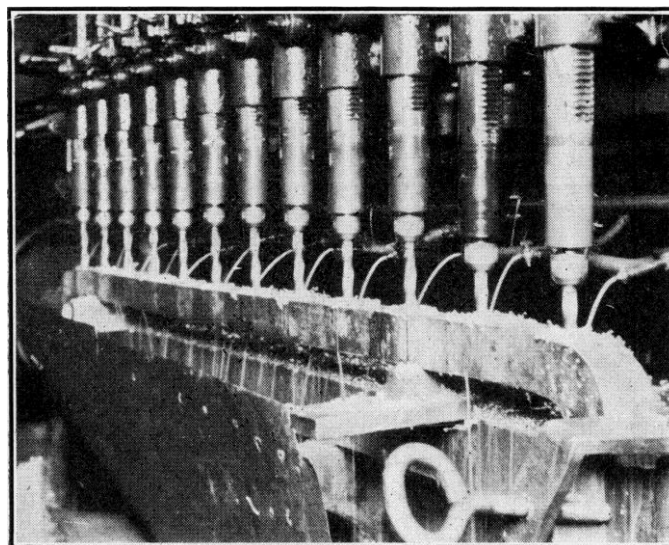
図 II-2-71 8ft.ラジアル・ボール盤による底枠(マッド・リング)への穿孔



from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.73.

ちなみに、お国柄、同時代のアメリカにおいてはマッド・リングの穿孔にも直列 12 軸ボール盤などという専用機が開発され、活躍していた(図 II-2-72).

図 II-2-72 アメリカにおけるマッド・リング穿孔用直列 12 軸ボール盤の活躍

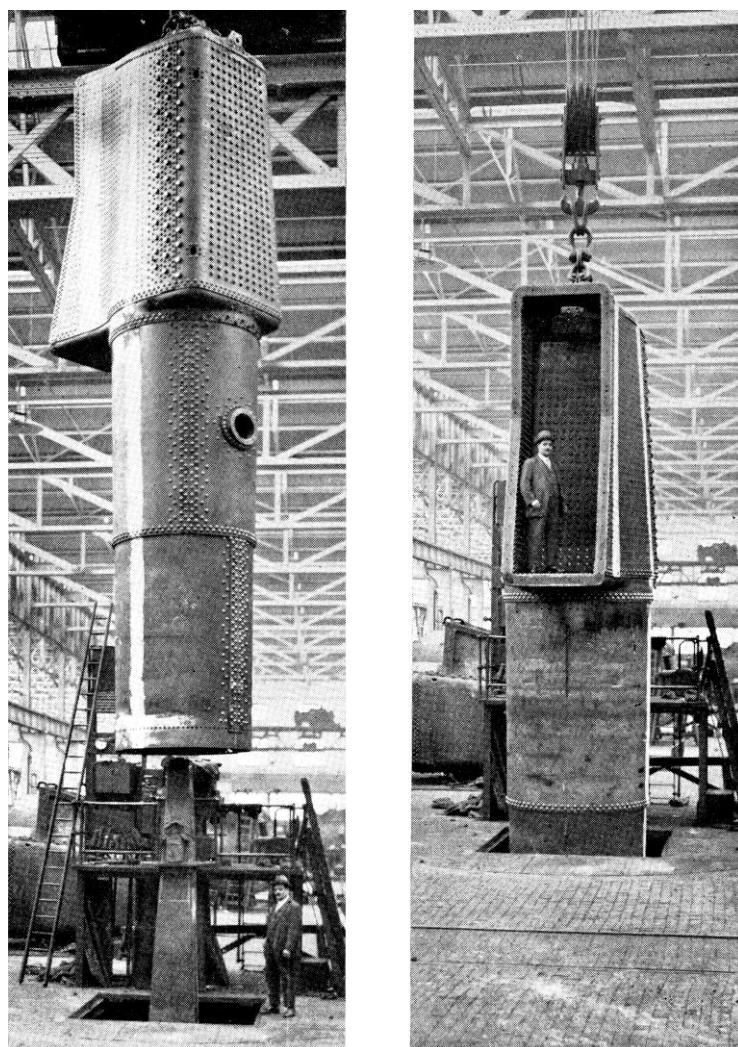


Locomotive Cyclopedia of American Practice. 9th., ed., 1930, p.1139, Fig.2793.

突合せリベット接合によって構成される前後 2 段構成のボイラ胴は互いの端を重ね合わせリベット接合される。完成した罐胴部を火室ノド板のところでリベット接合すれば罐の躯体は完成する。図 II-2-73 に観る水圧式リベッティング・マシンは火室用のそれをはるかに凌ぐ 23ft(7010.4mm)ものリーチを持つ機械で、深いピット内に据え付けられていた。機関車ボイラのように細長いボイラは他に存在しないから、これは専用加工機の一つであった⁵³。

図 II-2-73 水圧式リベッティング・マシンによるボイラ胴総組立状況

⁵³ イギリスの The A1 Steam Locomotive Trust によって 1994 年に着工され 2008 年に竣工した再現版の急行旅客用蒸気機関車 LNER Peppercorn Class A1 60163 *Tornado* がそのボイラ設計をオリジナルのリベット接合から全溶接構造へと改められるに至った理由は、現在の安全基準もさることながら、このように特殊な機関車ボイラ専用リベッティング・マシンが失われていたことにある。なお、機関車ボイラにおける内火室を手始めとするガス溶接や電気溶接の導入はアメリカを先達として'30 年代に大幅な進展を見せ、全電気溶接構造の機関車ボイラも実用されるに至っていた。

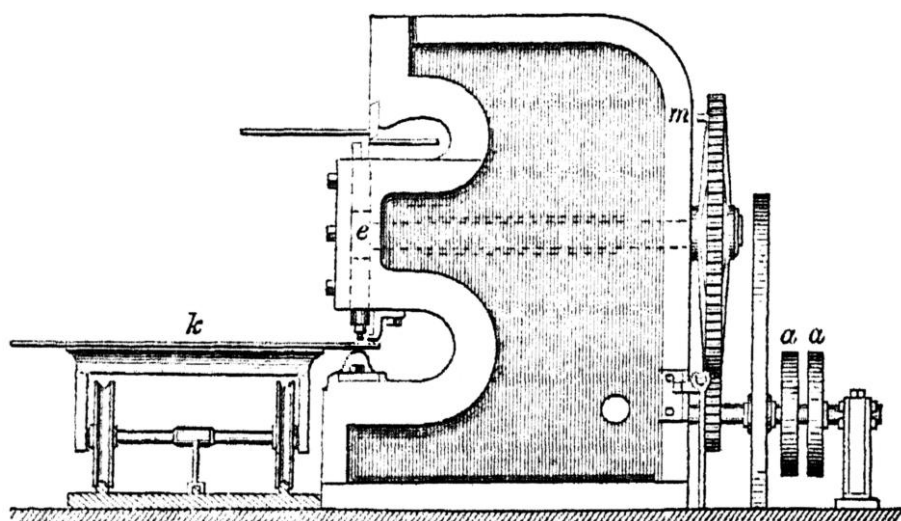


from Chapman, *The "King" of Railway Locomotives*. p.76.

煙室管板を取付け、火室管板との間に太さ $2\frac{1}{4}$ in.(57.15 ϕ)の煙管を多数、通してカシメた後、ボイラは水圧試験に供された。常用蒸気圧力は $250\text{lbs/in.}^2(17.6\text{kg/cm}^2)$ であったが、水圧試験においては16%増しの $290\text{lbs/in.}^2(20.4\text{kg/cm}^2)$ が課せられた。

参考までに、図II-2-74として一般的なボイラ板リベット孔穿孔用パンチング・マシンの図を掲げておく。eがエキセンである。この機械は要求される孔ピッチに調整されていたと記されているが、一定ピッチにセットされた複数のパンチでそれだけの孔を一気に明けたのか、mによって発動される自動送りが可変となっていただけで、パンチ自体は1つであったのかについては判定不能である。

図II-2-74 一般的なボイラ板リベット孔パンチング・マシン



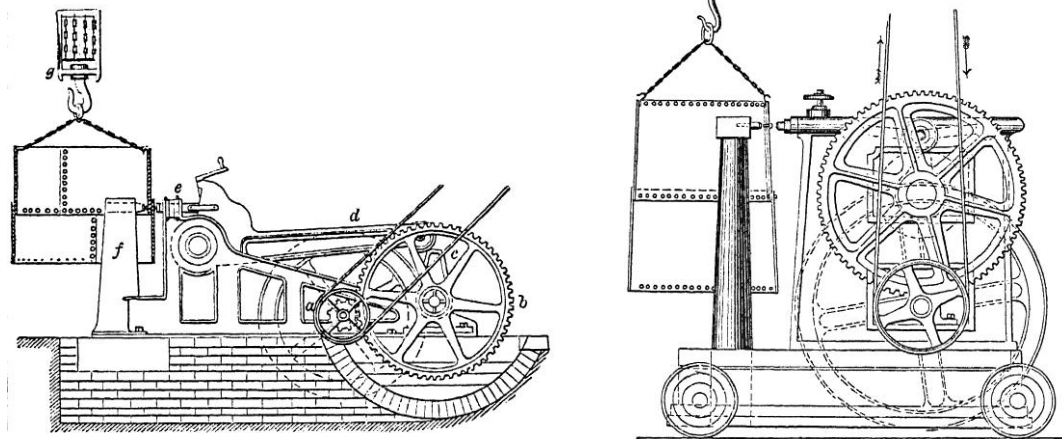
Knight's American Mechanical Dictionary. Vol. III, p.1834 Fig.4049.

総じてリベット結合においてはリベット孔の位置とピッチ精度が重要であったから、リベット孔は専用のパンチング・マシンを用いて整然と明けられるのを良しとした。しかし、最高のリベット孔加工は GW 鉄道におけるそれのように板を重ね、あるいは突合せて目板を当ててからドリル穿孔する、あるいは予め小孔をパンチしておいて重ねてから正寸の孔へと穿孔し直すといった方途によった。この再穿孔はパンチング時のせん断応力によって孔周辺に生じた加工硬化による脆化層を除去する狙いでなされる所作でもあった⁵⁴。

図 II-2-75 はヨリ小規模かつ一般的な機械式リベッティング・マシンによるタンクないし低圧ボイラ胴らしき円筒状ワークの部分組立状況を示す。簡素な 1 列重ね接ぎのリベット締めがその用途を物語っている。

図 II-2-75 機械式リベッティング・マシンによるボイラ胴(?)の部分組立状況

⁵⁴ cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.V, p.272.* 加工硬化層の除去には孔径を $\frac{1}{8}$ in.(3.175mm)削り拡げれば足りるとされていた。



Knight's American Mechanical Dictionary. Vol.III, p.1948 Figs.4349, 4350.

鉄道の電化やディーゼル化は第二次世界大戦の影響で棚上げとなり、戦後へと持ち越された。やがて、鉄道車両開発は再開され、蒸気機関車の時代は終焉を迎える。とは言え、鉄道車輛に付きまとう占有空間・重量の制約ゆえに、重く嵩高い電気機器や動力伝達装置を抱える電気およびディーゼル機関車の連続定格出力がレシプロ・単式・不凝結という最も旧弊な蒸気動力プラントに過ぎぬ蒸気機関車のそれを凌駕し得たのはようやく'60年代以降の事績に属している。

IIにおいては蒸気機関車部品の製造技術に自動車工業の影響が垣間見られる点を幾つか示唆し得た。レシプロ蒸気機関の最終世代たる高速機関は躯体設計上、内燃機関に学ぶところ大であったが、旧世代のレシプロ蒸気機関に属する伝統的蒸気機関車もその製造工程においてはすでに1917年、初版刊行の *Machinery's Encyclopedia* に、あるいはホーニングに関してはその *Supplement* に収録されていたような種類の内燃機関技術の進歩に負う点が少なからずあった。

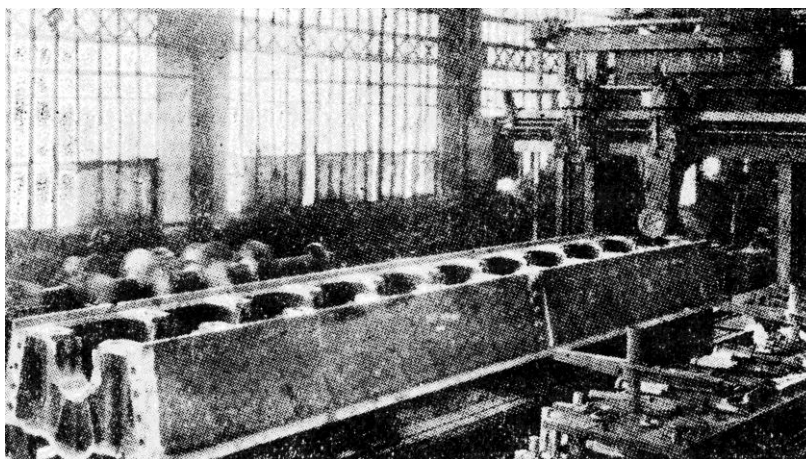
考えてみれば、同じ容積型機関のことでもあり、また、工作機械屋工具のメーカーにとっては機関車製造工場も自動車工場も顧客であったから、進歩が急速であった自動車工業を起点とする工作技術情報のやり取りがあったとしても何ら不審な点はない。そこで、次に取上げられるのはこの内燃機関製造に係わる話題となる。

Ⅲ：内燃機関の時代と工作機械

1. Ford System から基幹的自動車工業へ

内燃機関と一括りに表現しても，大形内燃機関などは縦型であれ横型であれその躯体を蒸気機関から借用しているのもであって，それらの製造工程における個別シーンは大方，蒸気機関の時代さながらであった．図Ⅲ-1-1 は大形ディーゼルの台板上面をプレーナで切削する状況を示すが，時を経てもプラノミラによるプレーナの代替を観た程度であり，これぐらいのことなら蒸気機関の時代から一部においては行われていた所作である．

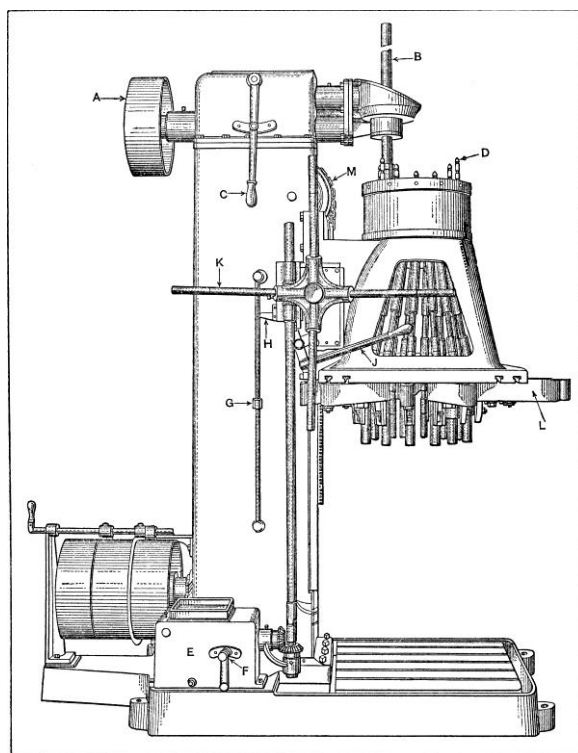
図Ⅲ-1-1 プレーナによる大形ディーゼル機関用台板の切削



永井 博「發動機工作法—陸・船・車輛用發動機—」東・三枝・永井 博・三木吉平『發動機工作法』共立社内燃機関工学講座 第7巻，所収，229頁，第32圖．

勢い，内燃機関製造技術の世界において固有性が発揮されたのは高速機関製造の領域ということになる．その代表たる自動車工業や航空発動機製造業における専用機と聞けば多軸盤や多頭盤が真っ先に思い浮ぶであろう．しかしながら，アメリカにおいては20世紀初め，勿論ベルト駆動の時代から図Ⅲ-1-2のごとき多軸ボール盤が一般機械産業において汎用されていた．本機は16軸を有し，それらの配置はLのセッティングによってある範囲において任意に定められた．多軸ボール盤はほどなく自動車工業の発展に牽引され，多軸・多頭盤へと目覚ましい進化を遂げて行く流れとなる．

図Ⅲ-1-2 20世紀初めのアメリカ製汎用多軸ボール盤



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement., Vol. II, p.460, Fig.5.

自立・自走可能な3輪以上の車両としての自動車は1769年、蒸気自動車の形で誕生した。しかし、蒸気原動機、蓄電池+電動機、内燃機関等、様々な動力源を得てその進化の歩調が速められたのは漸く19世紀末葉であった。もっとも、ほどなくガソリン機関の自動車用原動機としての優位性が確立したため、自動車の量産・大衆化は自ずと内燃機関の大衆化と同義となった。Ford Motor Companyこそがその開拓者であった。

アメリカ自動車工業の先進性を証明する一つの事例は特殊鋼の採用に見出される。特殊鋼の導入に対するアメリカ自動車工業界における歴史的挿話を引用しておこう。

ある著者は1911年頃を回顧して書いた本の中で、当時の自動車業界が合金鋼を使用することに無関心であったことに驚いている。それによると、彼らは鋼で作ったある部品が破損すると、簡単によりねばいチャコール・アイアン(錬鉄)で作ることに変更した。そして次にそれが曲がると、今度は直ぐ設計を変えて形を大きくしたと言う。しかしこういう状態も初期の頃の話で長くは続かなかった。当初の自動車メーカー、製鋼業者、継目無鋼管業者はその製造プロセスの創始者であったが、彼らは試行錯誤の流儀で教育された人々で本当の意味での技術者ではなかった。間もなく次の年代の人達が入って来て情勢は変わった。彼らの中には訓練された技能工、化学者や機械・冶金の技術者などが多かった。ユーザー側では一定の条件の下で試験を行って、自分達が何を求めているか、また将来どうしたいのかをはっきりさせた。一方メーカー側では工場の中でどうしたら彼らの要望を満たし得るかを研究した。こうして研究方針を種々の特定された

使用条件に合致する特殊鋼の開発を目標に取る風潮が始まり、それが今日まで続いている。鋼管メーカーも他の鋼材のメーカー同様この方針に忠実なメーカーが一番繁栄することになった⁵⁵。

Ford 社はその *Model T* に CrV 鋼を製品に導入して成功を収め、後にはこれを調質された Cr 鋼へと代替することでその製品のコストパフォーマンスを更に向上させている。

機械工作技術一般におけるアメリカの偉大な功績として Frederic W., Taylor による⁵⁵の高速鋼の開発(1898年)、Elwood Haynes によるステライトの開発(1899年)が挙げられ、後には高コバルト高速鋼の製品化も行われている(1928年)。炭化タングステンとコバルトの焼結による超硬工具の実用化(1928年)こそドイツの Krupp の Widia に先を越されたが、General Electric は直ちに同様の製品を Carboloy として販売している。

炭化タングステン工具は世界的に普及し、タンガロイ(東芝)、キゲタロイ(住友電工)といったブランドの国産類似品も誕生した。これらの品質についてはしかし、廣海軍工廠工作機械実験部に係わった海軍技師 山本良雄による次のような回想が残されている。

2 部関係では、酸素魚雷用の Ni, Cr, Mo 鋼製気室の外削りとボーリングの高速切削実験を行った。超硬工具製バイトの良質のものなく、獨逸のウキデアを専ら使用した。

國産ではタンガロイ、キゲタロイなどの試作品が見本として持ち込まれたが、當り外れがあつて調子悪く、ウキデアも豊富に入手できるわけではなく、どうにも困った覚えがある⁵⁶。

兵役で唐津鐵工所から廣海軍工廠工作機械実験部に配属されていた竹尾快助もまた、Hasse & Wrede GmbH 製彈丸切削用自動旋盤に係わる山本の實用實驗について：

問題は、彈丸材料の被切削性(Machinability)と工具(超硬合金チップ)の性能にあつた。彈丸材料は、砲撃威力を高めるため強靱鋼を熱處理した難削材である爲、當時製作されて居た超硬合金チップのキゲタロイ、タンガロイでは、一個の彈丸を仕上げる事が出来なかつた。ウィディアで削ってみたいと思つても、入手は困難であつた⁵⁷。

⁵⁵ James Percy Boore・今井 宏訳『シームレス物語 ——米国の継目無鋼管産業発展の歴史——』私家版、1984年、101頁、より。

⁵⁶ 山本良雄「工作機械実験部の回想」長尾克子編『廣海軍工廠工作機械実験部回想記』私家版、1984年、所収、より。回想はこの後、チップブレーカ開発に移行している。

⁵⁷ 竹尾快助「廣海軍工廠工作機械実験部がなしたこと」『廣海軍工廠工作機械実験部回想記』所収、より。ここでも階層は切粉処理の困難へと続いている。竹尾は併収された別の回想「工作機械実験部の思ひ出」においては「本研究に對しては、キゲタロイからの供給で實驗が進められていたと思う」と述べている。

以上は NC 化の初期, 国産スローアウェイ工具の摩耗が余りにもはなはだしく, “Sandvik 製のチップを用いねば NC 工作機械が使い物にならぬ” と嘆かれた件をまさしく先取りするかのような実験状況であった⁵⁸.

超硬工具は鉄鋼系材料における重切削や高速切削の一般化を促すとともに軽合金など軟質非鉄金属系合金の浅い切込みと高い速度を以てする高精度・高表面粗度切削に新境地を拓いたことにより航空機・航空発動機の工作に対しても画期的意義を有することとなった。そして, いずれの工作局面においても工作機械の躯体構造における重厚化, 即ち高剛性化と振動回避とは喫緊の要務と化した⁵⁹.

もつとも, その伝統的躯体構成材料としてのねずみ鋳鉄が内部に晶出・分散する片状黒鉛粒子の存在ゆえに高い振動減衰能を有するという特性はそれが摺動面として発揮する保油性にも増して機械技術の新たな発展段階を迎えるに当って非常に好都合な要素となってくれた。

とは言え, 工作機械の基本形式自体は 19 世紀中にはぼ出揃っていた。フォードシステムの確立によって, 更にはその後の自動車技術の発展によって極めて重大な意義を担うこととなる Fellows Gear Shaper Company(米)の独創的なギヤシェーパーも 1896 年に創製されている⁶⁰.

重構造化や多軸化やカムを駆使して半自動化された専用機の体系, ここにフォードシステムを原点とする量産工業としての自動車工業の確立を支えた工作機械技術進化の本質があった。

20 世紀初頭におけるカム制御の多軸自動盤の例として, 図 III-1-3 に National-Acme Co.(米)の 4 軸自動ネジ切り盤の姿を紹介しておこう。A は主軸, B, C は工具台, D は駆動軸, E はプーリである⁶¹.

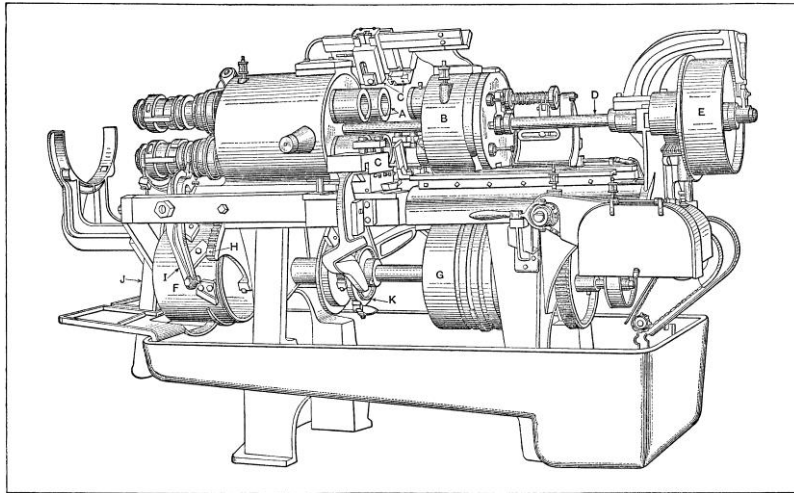
図 III-1-3 National-Acme Co.の 4 軸自動ネジ切り盤

⁵⁸ この嘆きについては高度成長期, 工作機械・機械工具商社を自営していた学窓の先輩, 三笠芳雄氏から繰返しお聞きした。

⁵⁹ これらについて簡単には奥村『工作機械発達史』第九章, 第十三章, 参照。

⁶⁰ The Fellows Gear Shaper Company は Fellows Corporation への商号変更, オーナーシップの転変を経て 2002 年, その歯車形削盤部門を Bourn & Koch Inc.に買収された。前掲拙訳「Fellows Gear Shaper Company の発展 1896-1946」, 参照

⁶¹ National-Acme Co.は合併, DeVlieg-Bullard Inc.への売却('95)を経て Bourn & Koch Inc.に吸収('05)。同社は Fellows の歯車工作機械部門をはじめ, ホブ盤で鳴らした Barber Colman や American Tool Works, Blanchard 系研削盤の製造権等々の伝統あるアメリカの工作機械メーカーやブランドを次々に買収したアメリカの新興工作機械メーカーである。



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement., Vol. I p.184 Fig.4.

F と G はそれぞれ主軸回り(クラッチ On-Off, 素材の取込み, チャッキング, 排出)と主工具台 B とを制御するための円筒カムで, 工作がネジ切り中心であったから, 4 軸とは言え, まだしも幾分単純な構造に収まっていた。

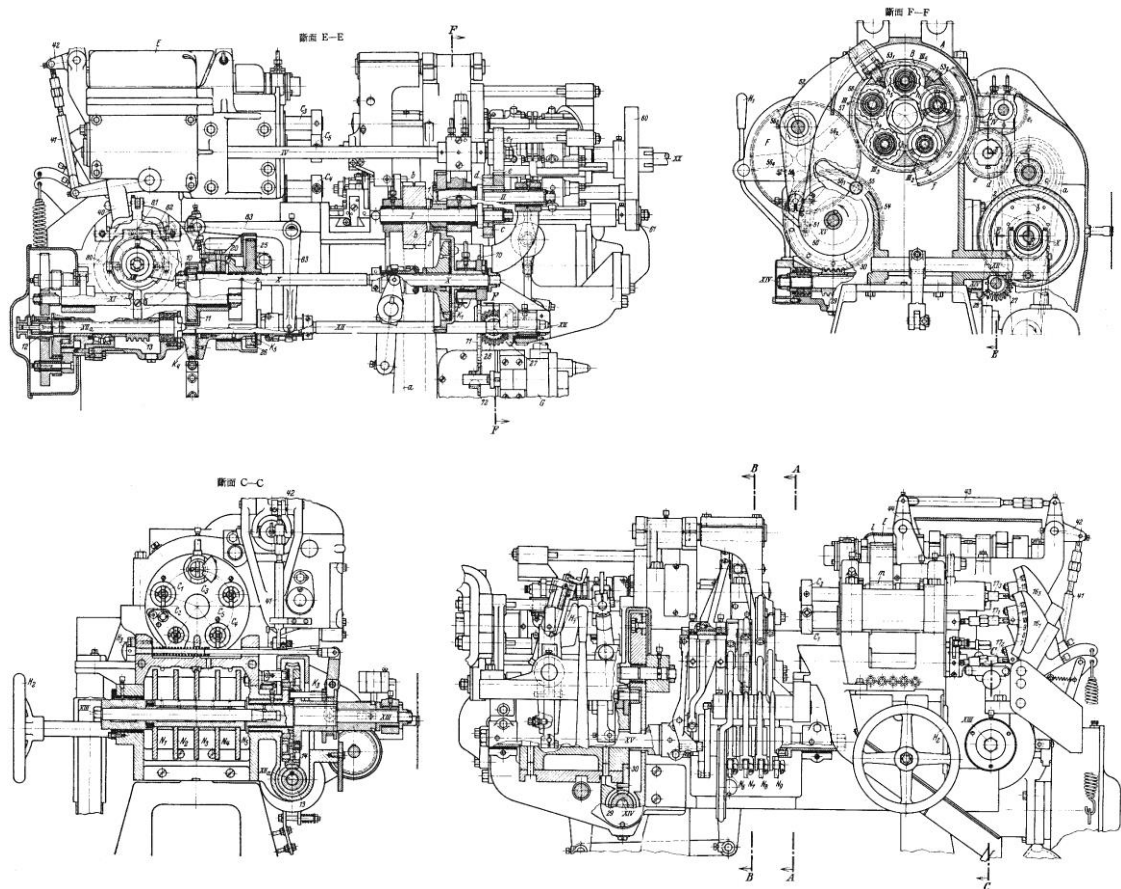
この種の多軸自動ネジ切り盤は同じ格好のボルト類を丸棒や六角棒などから連続して挽くための機械であった。主軸の各位置においてはそれぞれに帰属する部分切削が逐次, 施され, 1 個のワークは 1 周 4 ステップで 1 サイクルの切削を終えて吐き出された。長い工作時間を要する工程は 2 つに分割してでも各ステップになるべく等しい工作時間を割当てることが肝要であった。第 1 ステップの旋削が終ればそこには次の素材がつかまれ, 次のサイクルが始まっていた。当然ながら, ワークないし工作の仕様を変更するにはカムをセット交換することになる⁶²。

カム制御の多軸自動盤のさらなる発展形の一例として, 図Ⅲ-1-4 に'30 年代の Davenport Machine Tool Co.(米: *Davenport* は Brinkman International Group Inc.の一ブランドとして今も健在)製 5 軸自動ネジ切り旋盤の部分断面図を示す。Davenport は 1902 年の Model B 以来, 5 軸機を伝統とした⁶³。

図Ⅲ-1-4 Davenport Machine Tool Co.製 5 軸自動ネジ切り旋盤の部分断面

⁶² 原田備一『ターレット旋盤及自動旋盤仕事』共立社 實地工作法講座, 第一巻, 1935 年, 第 3 章, 第 4 章, 参照。原田は三洋商會技術部長。

⁶³ ねじ便覧編集委員会『ねじ便覧』日刊工業新聞社, 1966 年, 468 頁に多軸自動旋盤の主軸数について「4, 6 または 8 本」などと表記されている事実は誠に遺憾である。



G., Schlesinger/森 佐一郎・若林鐵生・鈴木 仁譯『工作機械』第四卷 圖表編, コロナ社, 1940年, 圖表 19, 20, より.

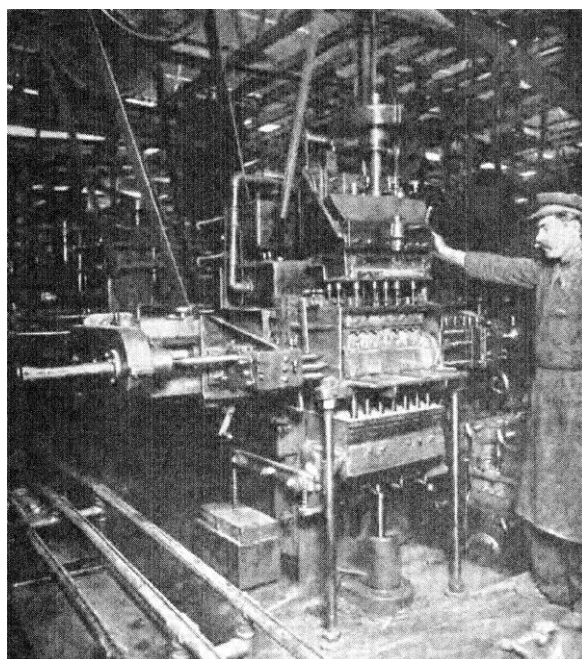
この種の機械はネジ, ボルトの類のみならず, 様々な軸物——小形の歯車ブランクやブッシュ, ころがり軸受の内輪, レバー, 砲弾などを連続的に挽くことができた. サイレント・チェーン軸 I は電動機から動力を受取り, 中間軸 II → 内歯車 g を介して主軸 III_{1-5} を駆動する (c, d, e, f, g, h) とともに, 操作軸 X → 送り及操作軸 XII → ウォーム軸 XIV → 縦送り刃物台操作カム板軸 XV → 溝付き円盤 F を經由して回転弾倉のような主軸キャリヤ B を軸 XX (正五角形が目印) 回りに回転させた.

下段の横断面図からは 5 枚の工具取付軸送り用カム $N_1 \sim N_5$ の存在を, 同じく縦断面図からは中央下部の手前側に位置する 4 枚の縦送り刃物台の送り用カム $N_7 \sim N_9$ の存在を窺うことができる. 各主軸におけるワークの拘束はコレット・チャックによってシャープペンシルの芯をつかむような要領でなされた. この種のカム制御式多軸自動旋盤は 6 軸まで進化を遂げる事となる⁶⁴.

⁶⁴ H., Finkelnburg/小林健志譯『多軸自動旋盤』機械製作資料社, 1943(原著 1938)年, 参照. 構造上, この種多軸自動旋盤においては旋削可能なワークの最大径が主軸孔径によ

Ford 社 Highland Park 工場に展開せしめられた自動車の量産・大衆化技術体系であるフォード・システムは古典的機械工業技術を基盤としつつ、これを専用工作機械の有機的配列の形に展開することによってワークの流れを合理化し、最終組立ラインと同期化せしめた高度に垂直統合的生産組織であり、生産性に配慮した設計や特殊鋼の採用による軽量化と相まって *T* 型フォードの製造原価における劇的低減とその大衆化に貢献した生産技術体系である。図Ⅲ-1-5 は Ford *Model T* のシリンダブロックに 4 面からボルト孔総計 49 個を同時穿孔する専用ボール盤を示す⁶⁵。

図Ⅲ-1-5 *Model T* のシリンダブロックにボルト孔 49 個を同時穿孔する専用ボール盤



from H.W., Arnold and F.L., Faurote, *Ford Methods and the Ford Shops*. N.Y., 1919(reprinted in 1972), p.4.

T 型は単一車型として黒一色でラインオフせしめられた。しかし、同時代のアメリカは小物類から車体丸ごと、果ては雪上車への改造キットに至るまで各種後付け部品の社外供給者に事欠かず、*T* 型時代には現代人が想像する以上に多彩な自動車社会が演出されていた。

って制約されるため、図体の割には小径のワークしか扱われ得ない。この著者によれば「100mmの主軸孔径を持つ棒材用多軸自動旋盤は未だ製作されて居ない」(16 頁)とのことであった。なお、図Ⅲ-1-4 中の 3 カットは同書 205~207 頁にも第 174~176 圖として収録されている。

⁶⁵ この印象的な写真は同じ文献の p.80 にも再掲されており、そこでは 45 個の穴を同時穿孔と解説されている。

Henry Ford はその生産技術を活かして Fordson 農耕用トラクタを開発・製品化したほか、後には TT 型として商用車の投入をも裁可した。関東大震災後の復興需要に応えるべく導入された“田太郎バス”のシャシは TT 型ステーキバンのそれである。それでも、T 型が本質的にベーシックな交通手段に属する乗用車であり、それがフォード社の一枚看板であることに変りはなかった。

他方、自動車は肉体のみならず恣意・欲望の延長手段として好適である。この点を衝いて成功をつかんだのが General Motors Corporation であり、価格階層別フルライン化、スタイリングの重視と毎年のモデルチェンジ、ローン販売を営業面における主な手口とする階層的大衆市場の開拓がその躍進のキーワードであった。これにより、アメリカの乗用車は流行商品、衍示的消費財の色彩を強めた。

大衆市場から階層的大衆市場への転換を生産技術面で支えた最たる要素はプレス加工技術、速乾性高彩度塗料(ニトロセルローズ・ラッカー)および塗装ラインに係わる技術の開発であり、企業組織としては事業部制と標準原価計算方式の採用にあった。しかしながら、追々紹介されるように、切削・研削に係わる様々な工作機械技術もその負託に応えるところ大であった。

そして、GM を頂点に戴く大手自動車メーカーはその資金力のみならず、生産技術、生産性設計における習熟、人的諸力の集積において時代を主導する存在となった。第二次世界大戦は内燃機関を以ってする戦争であったが、両大戦間期から第二次世界大戦期にかけては自動車メーカーがディーゼル/ガソリンの別を問わず、高~中速内燃機関技術開発のリーダーを務める基幹的自動車工業の時代が現出した。

即ち、世界最大の自動車会社となった GM はその地位に安住せず、中・高速内燃機関技術界の先達としても貢献した。開発の範囲は自動車用はもとより Allison 事業部の航空発動機や Detroit Diesel 事業部、Electro Motive 事業部の車両用/舶用中・高速ディーゼルにまで及び、'30 年代初頭、本線用ディーゼル機関車において GM は世界の先達となる。戦時体制下、その本格的展開は阻まれたが、GM、EMD の機関車用動力装置は潜水艦や戦車揚陸艦のパワーユニットへと転用され、その商用車用ディーゼルは上陸用舟艇主機としてともに大活躍した。戦後、一時期まで、その余勢をかった GM は世界最大の機関車メーカーとして君臨する⁶⁶。

GM アリソン事業部は戦時下、アメリカを代表する液冷航空発動機製造会社となった。アメリカ自動車会社による本格的な航空発動機開発・製造は第一次世界大戦期の Liberty 発動機の合作に端を発し、第二次世界大戦下においても各社による航空発動機の受託生産が大規模に展開された。航空発動機部品に対する要求精度は同時代の自動車機関部品のそれを

⁶⁶ 拙著『鉄道車輛工業と自動車工業』日本経済評論社、2005 年、拙稿「グレーマリン 2 サイクル高速ディーゼルについて——GM デトロイト・ディーゼル 71 系の一展開——」（『LEMA』誌掲載の後→IRDB の予定）、参照。

常にはるかに上回ったが、各社ともよくその付託に応え、生産性向上に関しては独自の貢献をなした。類似の受託生産はイギリスやドイツにおいても広く実施された。

自動車メーカーが内燃機関技術の重要局面を領導し、基幹的自動車工業の実を挙げる例は GM 以外でもフォード(戦車用ガソリン機関, Pratt & Whitney Aircraft Company R-2800 *Double Wasp* 航空発動機の大量生産), Packard(高速魚雷艇用ガソリン機関, Rolls-Royce *Merlin* 航空発動機のライセンス生産), Rolls-Royce(英:航空発動機, ターボジェット), Daimler-Benz(ドイツ:航空発動機, 機関車用・高速魚雷艇用高速ディーゼル機関), Fiat(イタリア:航空発動機ほか), Renault(フランス:同), Hispano-Suiza(同)などにおいても観察された。Chrysler(米)は最大の戦車メーカーであった。MAN(ドイツ:機関車用・高速魚雷艇用ディーゼル機関, 中・低速ディーゼル機関)や BMW(同:航空発動機, ターボジェット開発)あたりは自動車メーカーというより自動車製造を多少なりとも兼営した経歴を有する機械メーカーとして分類される。そのような例をも含め、基幹的自動車工業の類を擁した事蹟こそは同時代における先進工業国の証しである。本邦陸軍統制発動機の生成と展開は辛うじてそのひな形とみなされ得よう⁶⁷。

さて、一種の専用機と見なされるべき工作機械である歯切り盤の技術史に踏み込むつもりはないが、Ford 社との関係を契機として専用機の枠をはるかに超える存在となり、基幹的自動車工業のみならず航空発動機製造業一般の根幹を支えた点において、Gleason の作品をも凌ぐほどの役割を演じた一つの歯切り盤について黙過することだけは赦されまい。Fellows ギヤシェーパーがそれである。

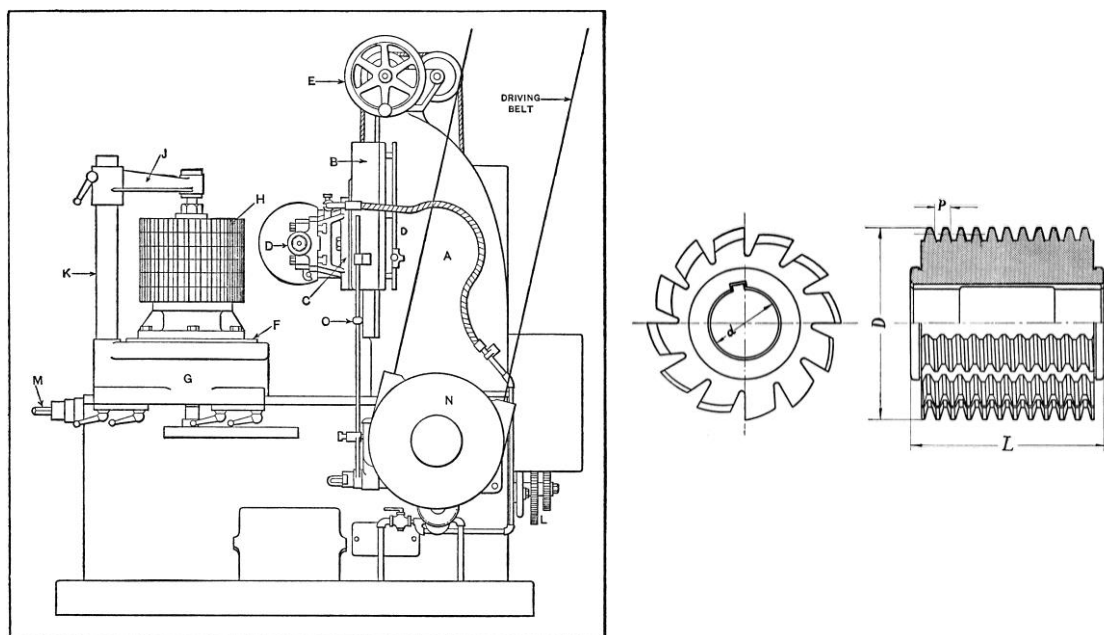
図Ⅲ-1-6 は Ford *Model T* に採用されていた遊星歯車式変速機(2F1R)の概念を示す。3段歯車 *B, D, E* (triple gear : 歯数 27, 33, 24) はフライホイール上 120° 間隔に植えられた 3本の軸 *b, b, b* に各 1 個、遊転支持されており、フライホイールと一体に公転する。*B, D, E* は独立した同芯軸を持つ歯車 *A, F, G* (歯数 27, 21, 30) と噛合い、*A* 軸の後端にはクラッチハウジング *K* が、*F* 軸の後端には低速ドラム *J* が、*G* 軸の後端には後退ドラム *H* が取付けられている。

図Ⅲ-1-6 Ford *Model T* に採用されていた遊星歯車式変速機の作動概念

⁶⁷ 基幹的自動車工業については拙著『鉄道車輛工業と自動車工業』、拙稿「ピストン航空発動機の進化」(→IRDB)、陸軍統制発動機については拙著『日本のディーゼル自動車』日本経済評論社、1988年、『ディーゼル技術史の曲りかど』信山社、1993年、『伊藤正男——トップエンジニアと仲間たち——』日本経済評論社、1998年、『鉄道車輛工業と自動車工業』、参照。

ここでは“低速ドラムおよび歯車” 19E と“逆転ドラムおよび歯車” 19F とに注目して頂きたい。そのブランクのオリジナル設計はドラムと一体品であった。かようなワークへのラックカッタ(ピニオンカッタ[図Ⅲ-1-9, -10]のピッチ円直径を無限大にしたもの)やホブ(ラックカッタを傾けて円筒の周りに多数並べたもの：Ⅲ-1-8)による創成歯切りは困難で、とりわけ 19F においては工具が邪魔になるため 100%不可能である。

図Ⅲ-1-8 縦型ホブ盤とホブ



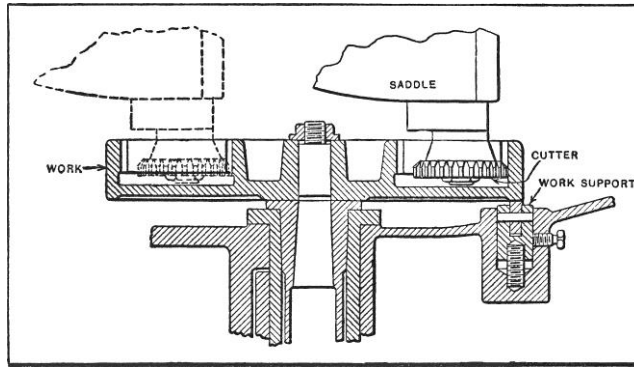
左：Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.Ⅲ p.344 Fig.19.

D 回りの円がホブ，H は 6 枚重ねの平歯車ブランク。

右：不二越鋼材工業(株)『NACHI 印 製品寸法表 第十二巻』1941 年，125 頁，より。

かかるワークの当該部位に歯を切れたのは独りピニオンカッタを用いる Fellows ギヤシェーパーのみであった。この機械ならば件のドラムはおろか，類似の行止まりワークに内歯車と外歯車とを切ることさえ，いともたやすいことであった(図Ⅲ-1-9)。もっとも，Fellows ギヤシェーパーがあったからこそかような設計がなされ得たのだと考えるのは余りにも皮相的な見方である。そもそも，この種の歯切りをも易々と遂行し得る歯切り盤として Edwin R., Fellows は彼のギヤシェーパーを世に問うたからである。

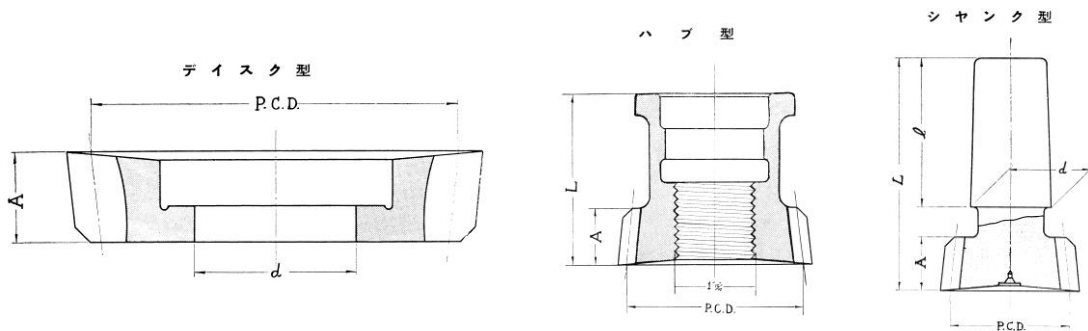
図Ⅲ-1-9 Fellows ギヤシェーパーによる同一ギヤブランクへの内および外歯車の歯切り



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.III p.346 Fig.20.

他方、如何にも厄介そうな 3 段歯車 19G はそれぞれ独立に切られた平歯車 3 枚を重ねてリベット締めしたものであったから、その歯切りはホブでもラックカッタでも対応可能であった。ピニオンカッタ 3 例を図 X に、これを用いるギヤシェーパの作模式創成原理 (molding-generating principle) と呼ばれる歯切り原理を図 III-1-10 に掲げておく。

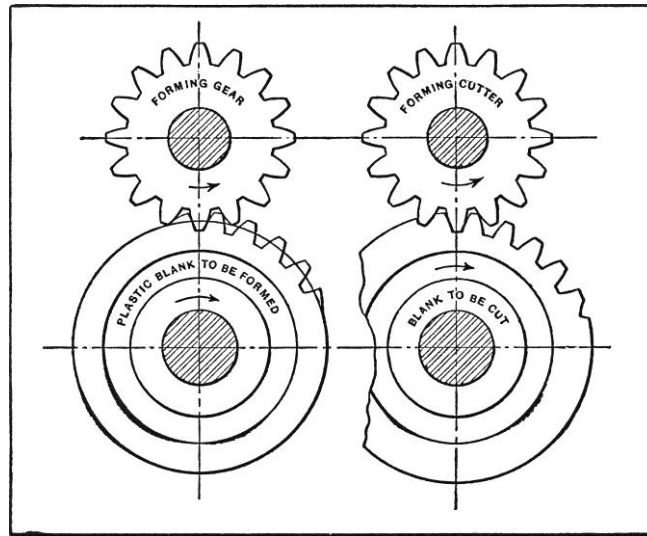
図 III-1-10 Fellows Cutters (ピニオンカッタ)



不二越鋼材工業(株)『NACHI 印 製品寸法表 第十二巻』113, 117, 119 頁, より。

図 III-1-11 左は歯車を可塑性素材のブランクに押し当てつつ両者を歯数比に連動させて逆回転させて行く転造の状況を示す。転造歯車の実現可能性は工具とブランクの材料次第である。

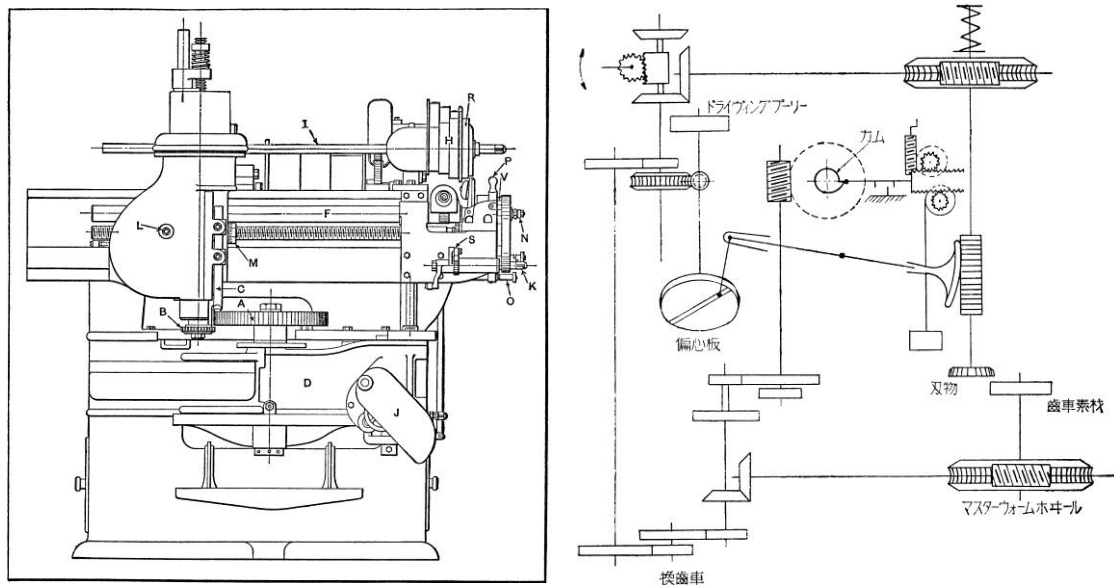
図 III-1-11 Fellows ギヤシェーパの歯切り原理



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. III p.333 Figs.5, 6.

図Ⅲ-1-11 右はピニオンカッタによる歯切り的一端を示したもので、カッタに軸方向の上下動を与え、ブランクに歯を切らせつつ、カッタとブランクとを同調逆回転させて歯切りを行う。図Ⅲ-1-12 は Fellows 6 型ギヤシェーパーとそのギヤトレインを示す。

図Ⅲ-1-12 Fellows 6 型ギヤシェーパーとそのギヤトレイン



左 : *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. III p.340 Fig.16.*

右 : 山本倍夫『歯切仕事』共立社 實地工作法講座, 第 6 卷, 1935 年, 189 頁, 第 255 圖⁶⁸。

⁶⁸ 山本倍夫は池貝鐵工所技師。

図Ⅲ-1-12 左において、A が歯車素材、B が刃物(ピニオンカッタ)、C はワークサポート、D は可動エプロンである。動力はドライビングプーリーH から伝えられる。刃物の昇降行程は偏心板の偏心半径と揺腕長さによってある範囲において任意に調節される。偏心板は揺腕を揺動軸 F 回りに揺動させ、揺腕はラック&ピニオン機構によって刃物 B のラムを昇降させる。切削は上向きでも下向きでも可能であった。B と歯車素材 A とは歯車が噛合う形で互いに逆回転し、その回転は B の昇降と同調して歯形が切られる。大きな歯車なら静止状態にある素材に最初の噛合いを切出し、その終了後、ゆっくりとした回転送りを同調させて行く。小さな歯車なら最初からカッタとブランクとを噛合い状態に置いてカムによって切込みを次第に増しながら 1 回転目で粗切削、2 回転目で仕上げ切削を完了する。

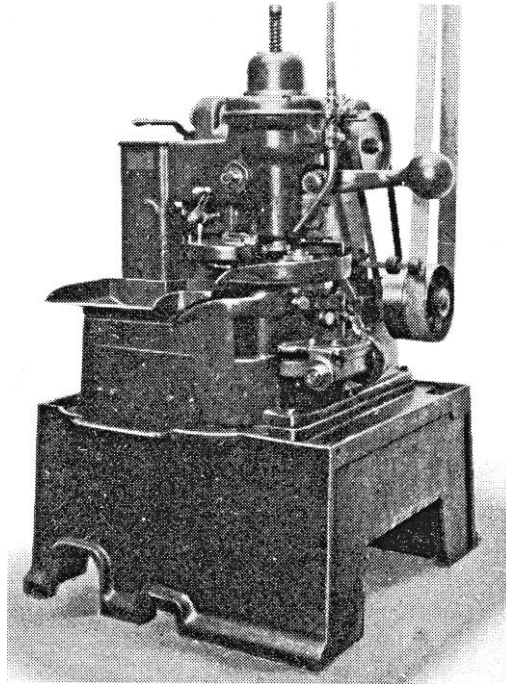
必要に応じて歯切りの後、歯車はバニシ仕上げされ、あるいは焼入れされるものは研削、ラッピングに処された。自動車用歯車においては時間とコストが嵩む研削工程を省略するためシェービングが実施されるようになった。Fellows は 1925 年に歯車バニシ盤を開発して以降、'30 年代を通じて歯車ラップ盤、歯車シェービング盤を相次いで開発した。シェービング工具はピニオン型とラック型とに大別されるが、Fellows はシェービング界のパイオニア、National Broach & Machine Co.(米)とともにピニオン型の代表格であった。ラック型は Michigan Tool Co.(米)によって創始されたが、同社もやがてピニオン型へと移行した⁶⁹。

当初、Fellows ギヤシェーパーと言えは 6 型であった。同機は継続的改良の下、第一次世界大戦まで Fellows における唯一の標準的製品という地位を有し、かつ、第二次世界大戦期を通じて主力製品の地位を保つ名機となる。

そして、Ford 工場における Fellows 6 型ギヤシェーパーの好成績は第一次世界大戦下、何とかの 3 段歯車歯切りに用いられる小形専用ギヤシェーパー 122 基の受注へと結び付く(図Ⅲ-1-13)。つまり、此処に至って件の Triple Gear まで専用ギヤシェーパーで片付けてしまう算段となったワケである。しかも、この機械は生産性を重んじた最初的高速型ギヤシェーパーとして生み出され、*Ford Special* として知られるに至った。

図Ⅲ-1-13 Fellows Triple Gear 用 *Ford Special* ギヤシェーパー

⁶⁹ Fellows Gear Shaper Company, *50 Years of Progress 1896-1946.*, 伊藤・川崎『機械工作法』下巻, 480~489 頁, 参照。

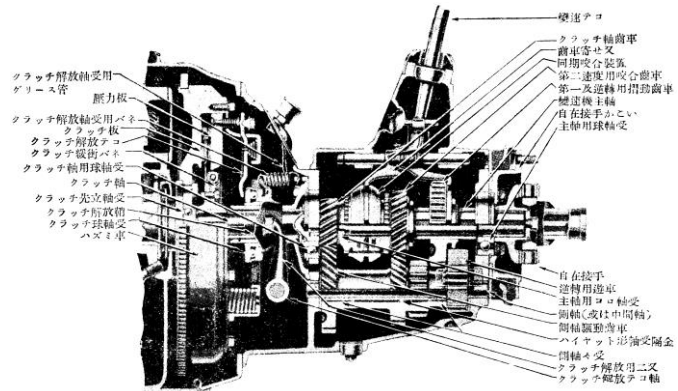
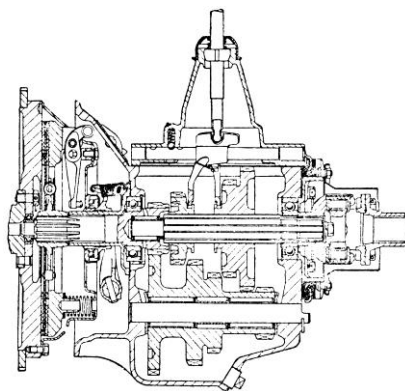


from The Fellows Gear Shaper Company, *50Years of Progress 1896-1946*. p.34.

そして、1922年には *Ford Special* の成功を基礎に汎用高速型である 7 型ギヤシェーパが開発され、Fellows の定番品として系列化に至った。この構図にはアメリカ自動車工業によって先導された生産性向上への流れの拡大と、それを支えた工作機械メーカーの技術力との関係とが典型的に示されている。

なお、*T* 型の時代、自動車用変速機の主流は歯車同士の噛合いを離合させる操作の難しい選択摺動式であった。歯車の欠損を排除し、変速操作を容易にした Ford の遊星歯車式変速機も *T* 型を以って終わりを告げ、やがて自動車用変速機の主流は歯車同士を常に噛合わせおき、ドッグクラッチ付きスリーブを離合させて歯車の欠損を排除する^{コンスタント・メッシュ}常時噛合い式、更にはスリーブに摩擦クラッチを付設してその噛合いを円滑化する^{シンクロ・メッシュ}同時噛合い式へと進化した(図Ⅲ-1-14)。無論、それらは戦車などの変速機としても採用された。

図Ⅲ-1-14 選択摺動式 4F1R 変速機(戦後の国産車)と 2, 3 速シンクロ 3F1R 変速機(Ford V8)



左：小田柿浩三『設計および製図』山海堂自動車工学講座 1956年，195頁，第3.99図.

右：菊地五郎『自動車工学』岩波書店，1938年，282頁，第348圖(ロ).

しかし、何れの機構を採る場合でも、図Ⅲ-1-14 左右において変速機主軸の下に位置するカウンタ・シャフトは軸に数枚の歯車をブドウの房状に重ねた所謂クラスタ・ギヤとなり、しかも、生産性と強度への配慮からはこれを軸と一体の鍛造粗形材より複数の歯車ブランクを削り出し歯切りした構造とすることが望ましい。この時、クラスタの歯車を余りに間延びさせれば変速機自体が長くなってしまいうため、大抵は中ほどに位置する歯車だけは寄せてやるという設計が行われる。

しかしながら、かくすれば、その歯切りをホブで行うことなど到底不可能、ラックカッタを用いるとしても極めて厄介となる。よって、ここでもまた Fellows ギヤシェーパーの独り舞台が演じられる次第となった。Fellows ギヤシェーパーは平行3軸式変速機のコンパクト化という面においてもアメリカ自動車技術の発展を支え続けたワケである。それが航空発動機製造技術の一隅を支えた具体的状況については節を改めて紹介される。

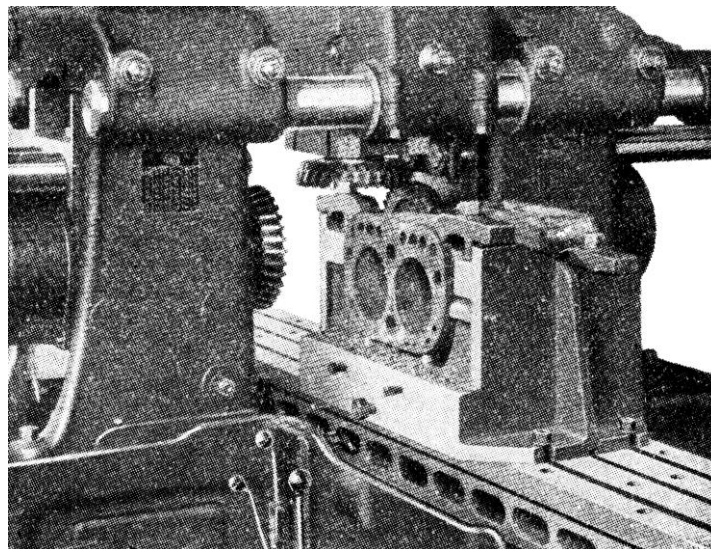
2. 自動車用など小形内燃機関の部品工作

1) シリンダブロックの平面切削

大形中・低速内燃機関のベッドなどの平面切削にはプレーナが用いられ、やがてプラノミラへと置換えられて行ったが、小形高速機関のシリンダブロックの、あるいは別体設計が採られていた場合ならばクランクケースについても、その平面工作にはプレーナではなくフライス盤が用いられた。図Ⅲ-2-1 は'30年代のモノかと想われるが、3主軸頭を持つ Kearney & Trecker Corporation(1979年、Cross Company と合併、Cross & Trecker となり、1991年、Giddings & Lewis Machine Tool Co.に吸収)の *Milwaukee* 3主軸頭付き生産フライス盤と

正面フライスを駆使した 2 気筒ブロックの 3 面同時切削状況を示す。シリンダブロックの平面仕上げに表面ブローチが使用されるようになるのは'30 年代末期のようである⁷⁰。

図Ⅲ-2-1 *Milwaukee* 生産フライス盤による 2 気筒ブロックの 3 面同時切削



早坂 力『ミリング仕事』共立社 實地工作法講座，第四卷，1935 年，16 頁，第 24 圖⁷¹。

2) 中ぐり

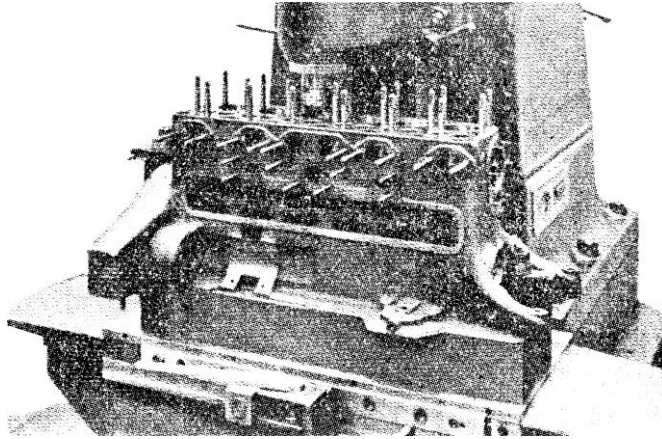
図Ⅲ-2-2 は SV・直列 6 気筒エンジンのシリンダを炭化タングステン系工具により中ぐりしている状況を示す。ボアサイズは $2\frac{9}{16}$ in.(65.09mm)，ボア長さは 7in.(177.8mm)とあるから，英米系のデータであることは間違いなからう。軽切削らしく，切削速度は 374ft(114m)/min. と高かった。この時の主軸回転数は 557.5rpm，送りは 0.004in.(0.1mm)/rev. で 6 個のボアを 1 個ずつ中ぐりして行く所要総加工時間は 23 分であった。これは高速度鋼工具を同一条件下で用いる場合の 2 倍近い値に相当した⁷²。

図Ⅲ-2-2 SV・直列 6 気筒エンジンのシリンダ中ぐり

⁷⁰ 大川 元「航空機とブローチ」『工作機械』第 4 卷 第 2 號，1941 年 1 月，第 4 圖，参照。大川は(株)大川機製作所，常務取締役。

⁷¹ 早坂 力は池貝鐵工所技師。

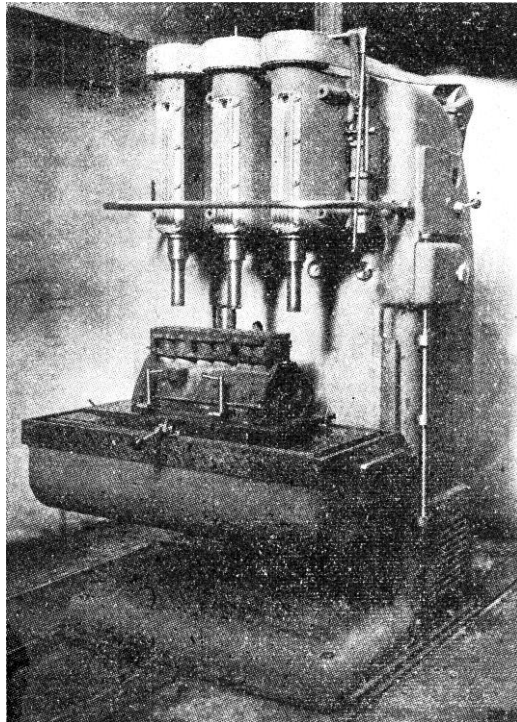
⁷² 資料には「374f/min(125m/min)」となっているが，換算ミスである。



三上『孔明け及中ぐり仕事』141頁，第120圖。

ファイン・ボーリングなる工作法は高速・軽切削による精密中ぐりの謂いで，1930年の1月に発表され，たちまち時代の流行となった。工具としては鋼材相手には炭化タンゲステン工具が，軽合金にはダイヤモンド工具が用いられた。図Ⅲ-2-3はVormag(ドイツ)の3軸ファイン・ボーリング・マシンで，主軸は1個の主電動機から継目無しの絹ベルトで同時駆動された。主電動機は3速度型で，プーリの交換を併用すれば主軸回転数は300~3600rpmの範囲で変速された。また，送りはヒザ型フライス盤のようにテーブルを0~5m/min.の速度で昇降させることによって油圧で行われた。最大加工孔径は130mmであった。

図Ⅲ-2-3 Vormag Betrieb A.-G.製ファイン・ボーリング・マシン



同上書, 143 頁, 第 123 圖.

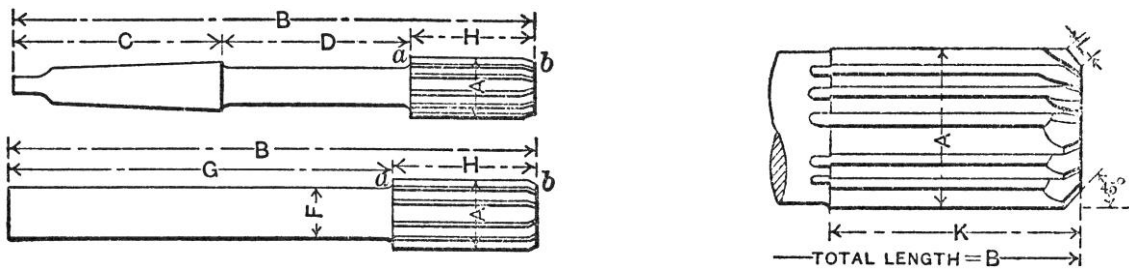
3) 内燃機関シリンダの内面仕上げ

i) リーマ仕上げ

続いて、エンジンの工作にとって重要なシリンダボアなど、孔の内面仕上げに眼を向けて行こう。ただ、ここに先ず取上げるのはリーマ仕上げである。内燃機関シリンダの内面仕上げにリーマなどを持ち出すのは場違いとも受け取られようが、20 世紀の初めないしそれ以前において農業用、産業動力用のガスあるいはガソリン・エンジン一般のシリンダ内面仕上げは中ぐりのままか、これにリーマ仕上げを施すかであり、その上で摺合わせ運転に処するのが精々といった水準にあった。以下、暫くはそんな時代のハナシである。

リーマはハンドリーマと中ぐり盤やフライス盤といった工作機械の先端工具であるチャッキング・リーマとに大別され、それぞれに幾つもの種類に展開している。後者の内、鋳物の孔に直接切込んで重切削によりこれを拡径するものを **Rose Chucking Reamer** と呼ぶ。材料は高速度鋼、その切れ刃は 45° の傾斜角が与えられた先端部のみで、これに続くランドには切れ刃もなければ二番も取られておらず、溝は単に切粉と切削油の通路をなすだけであった。しかも、一見、円筒風のランドには 1% のバックテーパまで与えられていた(図 III-2-4 右)。

図 III-2-4 Fluted Chucking Reamer(通常型機械リーマ:左)と Rose Chucking Reamer(右)

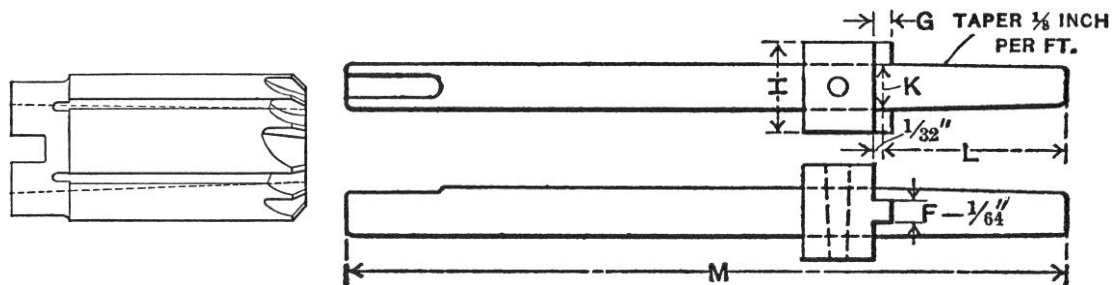


from *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. II, p.109.

もつとも、当時、アメリカで汎用されていた一般的な Rose Chucking Reamer の切れ刃部外径 A のレンジは $\frac{1}{4}$ ~3in.(6.35~76.20mm)であったから、最大のモノでも内燃機関シリンダの内面仕上用としては若干、役不足であった。実際、その主たる活躍局面は治具を用いた孔の内面仕上げに見出されていた。切れ刃を持たぬランド部は鑄鉄製ブシュによるガイドに好適であった。

ヨリ広いサイズ展開を示していた Rose Chucking Reamer は Rose Shell Reamer と称するもので、カッタ部のみを高速度鋼で厚肉円筒様に製造し、アーバには廉価な鋼材を用いる Shell Reamer の一種であった。アーバの種類をシェルリーマのその $\frac{1}{4}$ に抑えることを通じてのコストダウンも図られていた(図Ⅲ-2-5)。こちらならカッタ最大径が 5in.(127mm)まで規格化されていたから小形内燃機関になればほぼ対応できたことになる。シリンダ内面仕上げは固より、それ以外の用途においても大径の Rose Shell Reamer は中ぐりされた孔の仕上げに汎用されていたと考えて良からう。

図Ⅲ-2-5 Rose Shell Reamer と Shell Reamer Arbor



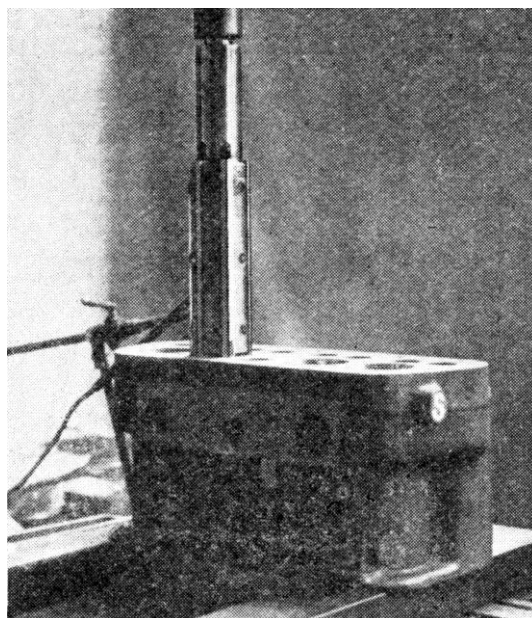
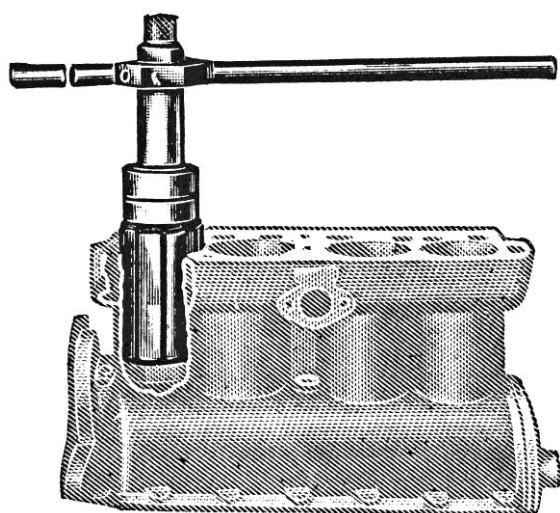
from *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. V, p.362 Fig.2, Table II.

分離式シリンダヘッドを持つエンジンなら製造工程において中ぐり棒の両端支持は容易であったから簡単な設備でそれなりに高い工作精度を期待することができた。しかし、往時、優勢を誇ったガスケット吹き抜けの憂いから自由なヘッド一体式シリンダを有するエンジンの場合、頑丈な中ぐり盤と極太の中ぐり棒でも使用されぬ限り、明けられた孔は鑄物の孔に順応してしまい、その軸がクランク軸芯に対して直角でなくなることなど日常茶飯事であった。Rose Shell Reamer のアーバ径は最大でも $\frac{3}{4}$ in.(19.05mm)といささか頼りなかつ

たが、所詮、これは内面仕上げ用工具であったから、これに孔のアライメント修正まで期待するのは酷であった。

もっとも、こと自動車用ガソリン機関に関しては、主として修理の局面で、時には製造工場においてさえ、シリンダ内面仕上げに専用リーマが用いられることがあった。図Ⅲ-2-6 左はアメリカのモノで、Foster-Johnson シリンダリーマなる工具である。修理工場においては図示のようなラチェット・ハンドルによる人力リーマ加工が行われていたが、勿論、製造工場では機械力が用いられた。粗削りなら1分半から2分の間に0.010in.(0.254mm)の切削が可能で、仕上げ後はホーニング不要であった。同右はイギリスにおける修理風景の一コマで、やはり組立式のリーマである。

図Ⅲ-2-6 シリンダリーマの使用状況



左 : *Dyke's Automobile and Gasoline Engine Encyclopedia*. 17th., ed., Chicago, 1935, p.824A Fig.31.

右 : Lord Montagu of Beaulieu and M.,W., Bourdon, *Cars and Motor-Cycles*. Vol. II p.672 Fig.16.

なお、Foster-Johnson リーマの方は上に観て来た Rose Shell Reamer の類とは異なり、先に紹介した Expanding Reamer の一種であった。切削はその先端をボアに3~4in.(76.2~101.6mm)ほど挿し込み、軸芯を合せてから刃を拡張させて開始された。分離式ヘッドのエンジンならヘッドを外して車載状態のままリーマによるシリンダ再生がなされ得た。

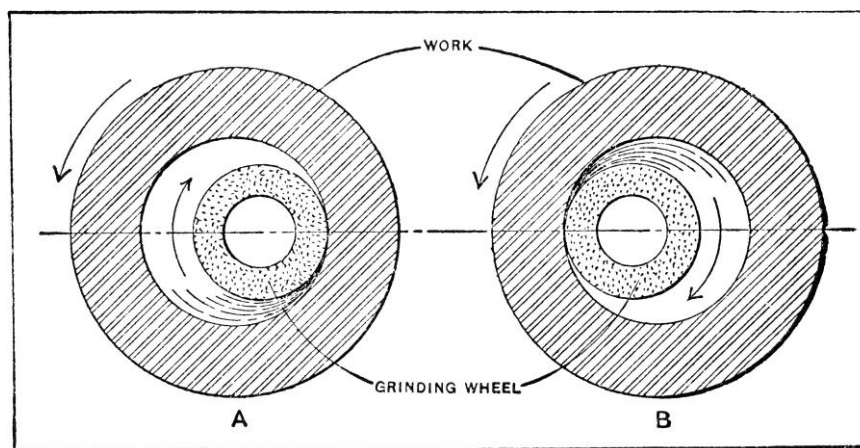
ii) 内面研削

続いて内面研削に視点を移動させよう。ここでは先ず、内面研削一般について押えておくことから始めたい。内面研削用砥石車は円筒研削や平面研削用の同類に比して小径となり

がちである上、ワークとの接触弧が相対的に長くなるため熱的に厳しい運用条件に置かれる。また、接触弧が長く砥粒切込みが浅い条件下で切れ刃の自生作用を担保するためには軟らかめの結合材を用いる必要がある。また、その新製時の外径は可及的に大とし、摩耗し切ってやせ細るまで使用することが好しとされた。

なお、砥石軸とテーブルとの角度が可変でテーパ研削などに対応可能となっている万能研削盤を用いて内面研削を行う場合、砥石車の切込みはこれを用いて円筒研削を行う場合と同様、作業員から遠ざかる方向になり(図Ⅲ-2-7 A)、本来の内面研削盤による場合は作業員に近づく方向となる(図Ⅲ-2-7 B)ことが一般的であった。

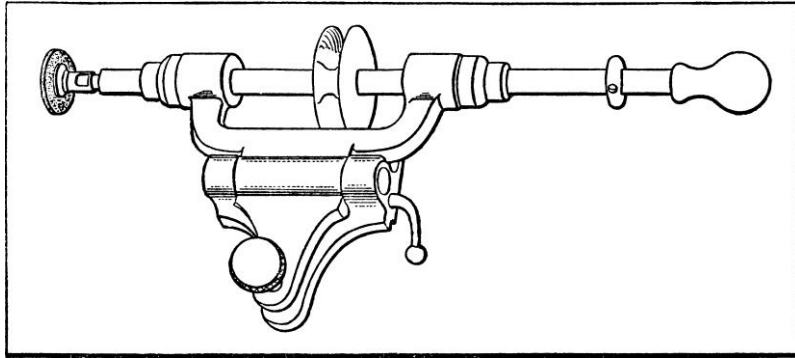
図Ⅲ-2-7 万能研削盤による内面研削(A)と内面研削盤による内面研削(B)



Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement. Vol. III, p.459 Fig.17.

図Ⅲ-2-8 は 20 世紀初頭、アメリカで用いられていた旋盤用の内面研削アタッチメント (push-spindle grinding attachment) で、旋盤の大きさ次第ではあるが、比較的小径の短い孔に適用される装置のようである。これを刃物台に取り付けて横送り(切込み)を制御する。右端のハンドルは砥石車に送りを与えるためのもので、主軸に対しては空転している。熟練作業員ならこのハンドルを親指と人差し指でつまんだ際の触感を通じて研削条件の適否を直覚し得た。中央には天井下のカウンターシャフトから主軸を丸ベルト駆動するためのプーリが位置しており、中にはこのプーリの側面に指を当てて送りを行う所作を好む作業員もあった。この内面研削アタッチメントは同時代の機械式送りを行うそれよりもはるかに高い工作精度を有していた。

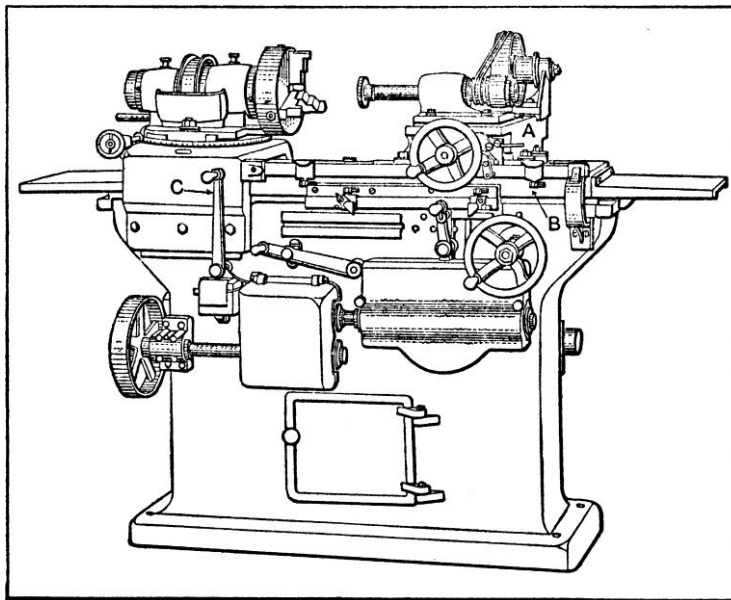
図Ⅲ-2-8 20 世紀初頭のアメリカ製小形旋盤用内面研削アタッチメント



Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement. Vol. I, p.341 Fig.3.

図Ⅲ-2-9 は同時代の Heald Machine Co.(米→1974 年, Cincinnati Milacron に吸収, '92 年, 閉鎖)製内面研削盤の一型式を示す. A は切込みを行う横送り台である. 主軸の支持剛性を高めるため, 送りに与る縦送り台ないしテーブル B には十分な長さが与えられており, かつ, 大きな送り为确保するためヘッドストックはベッド案内面をまたいで B の左端を逃す格好に造られていた. 砥石車主軸は A の後部に位置するアイドラ・プーリを介してカウンターシャフトからベルト駆動された. 主軸の変速操作はプーリ径の変更によって行われた.

図Ⅲ-2-9 20 世紀初頭の Heald 製内面研削盤



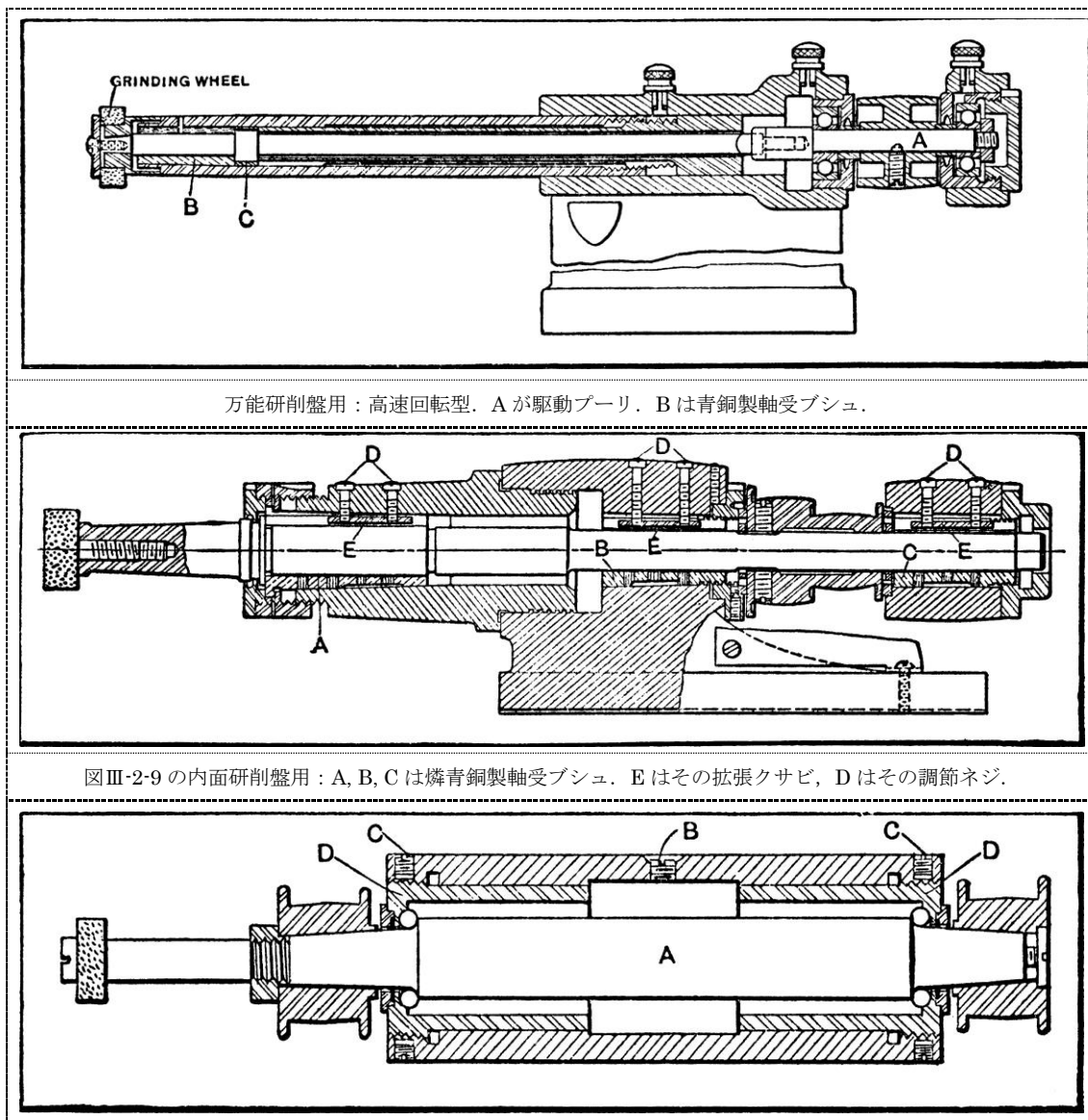
Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement. Vol.III, p.438 Fig.8.

ワーク回転速度の切換えはカウンターシャフト上の変速プーリによった. C は送り速度切換えレバーである. ヘッドストックはテーパ孔の内面研削に対応できるように左右に 45°

まで旋回可能とされており，“°”および“in./ft”の角度メモリが与えられていたから、本機は一種の万能研削盤であった。この種の内面研削盤は躯体剛性の高さと軟らかめの結合材を用いた砥石車の特性ゆえに、ゲージの駆使とあいまって精密互換性部品の大量生産にその真価を発揮した。もっとも、精度を最重視して手動送りのみとした機種も設定されていた。

図Ⅲ-2-10に同時代アメリカの内面研削盤砥石軸3例を示す。上段は万能研削盤用の比較的小さなそれで、駆動プーリAに作用するベルト張力は2個の単列深溝玉軸受が受けている。主軸を収容するシェルはネジで結合された内外2重構造となっており、外側シェルはその外端テーパ孔に青銅製軸受ブシュBを収容している。内外シェルの結合ネジは主軸カラーCの軸方向すき間調整に与る。

図Ⅲ-2-10 20世紀20世紀初頭のアメリカ製内面研削用砥石軸



超高速回転型：砥石軸はオイルバス式・内輪なしの小径アンギュラ玉軸受で支持。両側に駆動プーリ。

Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement. Vol. III, p.439 Figs.9~11.

中段は図Ⅲ-2-9 に示されるタイプの内面研削盤に用いられていた砥石軸である。A, B, C は燐青銅製スリット入り C 断面軸受ブシュで、その外径はテーパ仕上げされていた。それぞれは主軸をしっかりとつかむ状態まで締付けナットにより押込まれ、続いてそのスリットに仕込まれた拡張クサビ E の調節ネジ D による引上げによって若干拡張せしめられ、ハウジング内に緊締された。

下段は当時の超高速型内面研削盤用砥石軸を示す。その実用回転数は今日の基準からすれば低いとは言え 25000~30000rpm に達していた。軸は重構造で、その両ネック部は一種の、自転車のクランク軸受を連想させるような、アンギュラ玉軸受の内輪を兼ね、調整ナット D がその外輪をなしていた。内輪の機能を主軸に負わせたのは軸受径を小さくする狙いからである。即ち、玉の公転に起因する遠心力は軸受負荷に加重され、その転がり疲労寿命を短縮させる。この悪影響を可及的に小とするにはその公転軌道半径を抑えるのが望ましいワケである。C は D の固定ネジ、B は給油口でハウジングの内腔は油で満たされていた。

アンギュラ玉軸受は軌道輪に溝がなく、内輪を片寄せて外輪とのすき間に玉入れする必要が無いため、小径の玉を多数、詰め込みやすい。このため、縦断面図から受ける印象以上にその動定格荷重は大きく、玉が小さいため、これに作用する遠心力も小さく、高速回転向きとなる。玉にスピンモーメントが作用したりはするが、押し切ってしまうことはない。この点は現代の高速スピンドルにおけるころがり軸受の使用状況を観ても明らかである。

20 世紀初頭のアメリカにおいて、様々な材料のワークを内面研削する際の砥石車の周速は 1570~7035ft/min.(478.5~2144.3m/min.)とマチマチに採られており、ワークの周速も材料、砥石の種類に応じて表Ⅲ-2-1 掲示のごとき数値が選ばれていた。いずれにおいても相当な幅が存在したワケであり、研削条件の標準化には程遠い状況にあった。

表Ⅲ-2-1 20 世紀初頭のアメリカにおける内面研削のワーク周速

Material	Abrasive	Bond	Grain	Grade	Surface Speed of Work
Aluminium (cast).....	Carbolite, carborundum, or crystolon	{Elas. Vit.	46 to 50 50	{2½ E P	150 to 180
Brass or Bronze (cast)...	Alundum, corundum, or aloxite	{Elas. Vit.	36 46 to 50 46 to 50	{2½ K K O	
Iron (cast).....	Carbolite, carborundum, or crystolon	Vit.	36 to 40	{K P K	110 to 120
Alloy Steel, heat-treated..	No. 38 alundum, No. 58 corundum, or aloxite	Vit.	{46 46 50	{J J M	80 to 100
Steel, 0.20 to 0.50 per cent carbon (soft)...	No. 38 alundum, No. 58 corundum, or aloxite	Vit.	{46 46 50	{J J M	60 to 80
Steel, 0.20 to 0.50 per cent carbon (hardened)	No. 38 alundum, No. 58 corundum, or aloxite	Vit.	{46 46 50	{K K M	80 to 110

アラシダム、アロキサイド、コランダム砥石において 4500~5000ft/min.(1372~1524m/min.)、カーボライト、カーボランダム、クリストロン砥石において 4000~4500ft/min.(1219~1372m/min.)の周速を前提とする⁷³。

Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement., Vol. III, p.470, Table II.

iii) シリンダ研削盤(cylinder grinding machine)

今日では内面研削盤の一様式に過ぎぬプラネタリ型内面研削盤は 20 世紀初頭のアメリカにおいてはまさに内燃機関のシリンダ研削盤、つまり一種の専用機、しかも自動車工業におけるそれとして登場した。当時、アメリカにおいて内燃機関シリンダの内面仕上げに研削盤を汎用していたのは独り自動車工業のみであった。自動車メーカーの中でも丁寧なところはシリンダブロックを粗中ぐりしてから歪み取りの目的で焼鈍に付し、その後で仕上げ中ぐりを施してから内面研削にかけていた。

そもそも、コンパクトにまとめられるべき自動車機関においてはシリンダピッチやシリンダウォール厚の抑制は至上命題となる。この薄い壁面を期待される動力性能に見合う高い精度まで仕上げて行く工作法としては、当然ながら、リーマによる切削ではなく砥石による研削加工の方が望ましい。

なぜなら、力づくで進められるリーマ加工においては鋳鉄中にハードスポットが存在すれば薄いシリンダウォールが逃げ(変形し)て真円筒仕上げを不可能にするからであり、2 サイクル用のポート付きシリンダに至ってはポートの存在自体が逃げの原因となったからである。

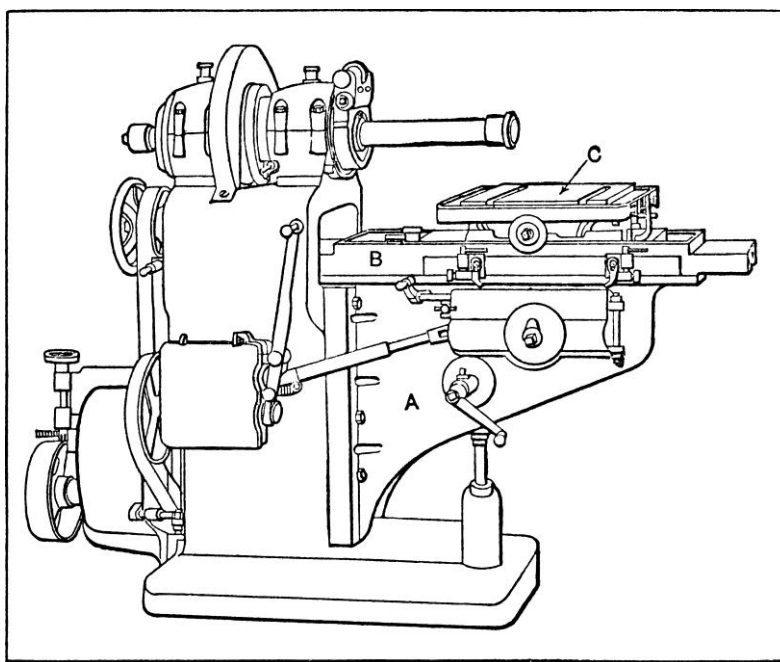
そして、シリンダ鋳物の外形は真円筒から乖離するのが普通であるから、その内面研削に大物の工作におけると同様、ワークを回転させないプラネタリ研削が要請されたのは道理

⁷³ カーボランダム、カーボライト(商標)は SiC, コランダム, アランダム(商標), アロキサイド(同)は Al₂O₃. これら, ごく普通の研削材を以って一般的な金属材料を研削する場合の砥石周速度についての現行標準は 1800~2700m/min.程度となっている。

である。それによる工作自体はリーマ仕上げに比して高くついたにも拘らず、設計上の要求や量産効果はその選択を合理化した。摺合せ運転をする場合にもその時間は、ピストンリング外周面の研削仕上げとあいまって、大いに短縮可能であったから、この点でも内面研削仕上げへの移行によってコストダウンが実現された。

砥石車自転軸、即ち研削盤主軸の公転半径は主軸を入れ子式をなし、互いに自由に回転する2枚のエキセンによって支えることで、一定の範囲内において任意に定められた。図Ⅲ-2-11は20世紀初頭のHeald製シリンダ研削盤の一型式を示す。本機はガスないしガソリン・エンジン製造時のシリンダ内面研削に特に適合するものであったが、当然ながら損耗したシリンダの再生作業にも回転させ辛いワーク全般を扱う内面研削盤としても有効であった。

図Ⅲ-2-11 20世紀初頭のHeald製シリンダ研削盤



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. II, p.296 Fig.2.

コラムの右側には主テーブル B を担持し、その高さを調節するニー A が取付けられている。主テーブルには横送り台 C が載っており、これをシリンダピッチ分、送ることによって2, 3, 4気筒ブロックのボアホールを順次、研削することができた。Bの縦送り幅はある範囲で任意に設定でき、その復帰も自動化されていた。送り速度と主軸の回転数とはそれぞれの歯車式変速機によって切換え可能となっていた。

躯体剛性が高い本機には切れの良い軟らかめの砥石車が好適であり、砥石幅は投入初期には $\frac{1}{2}$ in.(12.7mm)が好まれたものの、やがて $\frac{3}{4}$ in.(19.05mm)へと帰一した。研削代は0.005~0.020in.(0.127~0.508mm)を標準とした。

本機には大容量の水タンクと遠心式水ポンプが装備されており、冷却水はワークの外部と水ジャケットに供給されたが、ボア内部に達することはなく、研削は乾式であった。また、本機には研削による粉塵の排気装置も備えられていた。Heald Machine Co.でのテストによれば、様々な湿式研削においては工作面に対しても研削粉の除去に関しても良い結果は得られず、しかも砥石車に乾式研削においては経験されない種類の汚れが堆積しがちであると判定された。水を用いる目的はワークの温度を一定に保つことにあったがゆえに、上のような冷却法が選好された⁷⁴。

研削のためテーブルにクランプされた中ぐり加工済みのシリンダブロックには排気ノズルがセットされ、その水ジャケットには冷却水が通され、クランク軸側の外表面にも水がかけられた。同じく Heald 社によれば、ほとんどのメーカーは冷水を用いていたが、運転中、エンジンが熱くなる以上、運転状態に少しでも近い条件下で研削することが望ましいとの考えから温水を用いるメーカーもあった。

この説にも一理あったものの、寸法測定を行う際にはブロックが冷めてしまっているため、精度管理が不如意となることは否めなかった。肝心なのはなるべく素直な熱変形を示すシリンダブロック鋳物を設計、製造することで、その実現が困難であるとは言え、それさえ可能であれば温水法は無用であった。いずれにせよ、冷却水を全く用いぬ場合にはブロックにはなほだしい熱変形を来すため、作業者はこれを読み込んでオーバーサイズに研削して行くという極度に経験依存的な工作を余儀なくされた。

作業者は第 1 の内方送りにおいて砥石車のワーク孔表面への均等な接触を確保し、続く外方送りに際して 0.004~0.005in.(0.102~0.127mm)の深い切込みを与え、この状態で 1 往復送った。研削代が大きなワークであれば、再度、同じ切込みを与え、最終的に内径が仕上り寸法に対して-0.002in.(-0.051mm)以内になる程度まで研削すれば粗研削は終了する。

通常、この段階でプラグゲージや内径マイクロメータを用いてワークの内面を検査すれば、所期の仕上がりを確保するためにダイヤモンド・ドレッサによって砥石車を形直しすべきことが示される。修正された砥石面による仕上げ研削は高い主軸回転速度と浅い切込みで行われ、最後は切込みゼロで最低 2~3 回トラバースさせた。

仕上げ研削における送りの遅速は作業者がいいし会社の好みに負うところ大であった。速く送れば作業時間は短縮された。かくすれば研削痕が目立つ結果になりはしたが、シリンダ表面にはエンジンの運転開始後、直ぐに当りが付くため、仕上げ送りの遅速はその性能に何ら識別可能な差を生じなかった。

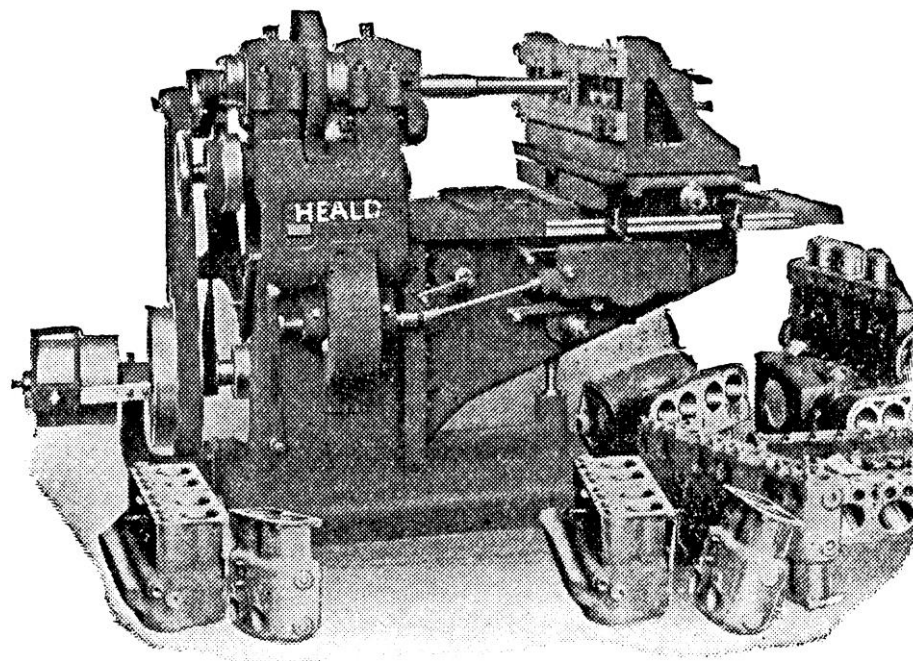
その反面、作業者の知性と技能とは研削の仕上りに係わる重要な要素であった。当時、研削盤は同一型式であっても個体ごとに微妙なクセを有しており、砥石車とワークもかなり

⁷⁴ これは現代の常識とは大きく異なる点である。機械製作法研究会『最新 機械製作』281 頁、橋本・山田『新編 機械加工学』41, 127 頁、参照。

の品質・性状差を抱えていた。それゆえ、完璧な標準的工作方案などというモノは確立され難かった。その欠を補っていたのが熟練作業者の腕，というワケである。

勿論，研削代を小さくしておくこと自体は有益であったが，シリンダの中ぐりにおいて寸法精度や仕上げ面粗度を追求し過ぎることは得策と言えなかった。中ぐりにおいてはボアの円筒度やクランク軸芯との直角を確保することが何よりであり，かつ，それは比較的容易に達成可能な目標でもあった。研削代は研削時間を決定する一要素であるに過ぎず，研削代の最小化にこだわり過ぎるあまり最重点項目がないがしろにされれば内面研削作業を通じてこれを修正する所作は大仕事となり，極めて不合理な工作手順となった。図Ⅲ-2-12にはやや時代下ってからの，図Ⅲ-2-11のそれより若干大形で直列6気筒までは十分，対応できそうな Heald 製シリンダ研削盤を示す。

図Ⅲ-2-12 1920年代の Heald 製シリンダ研削盤



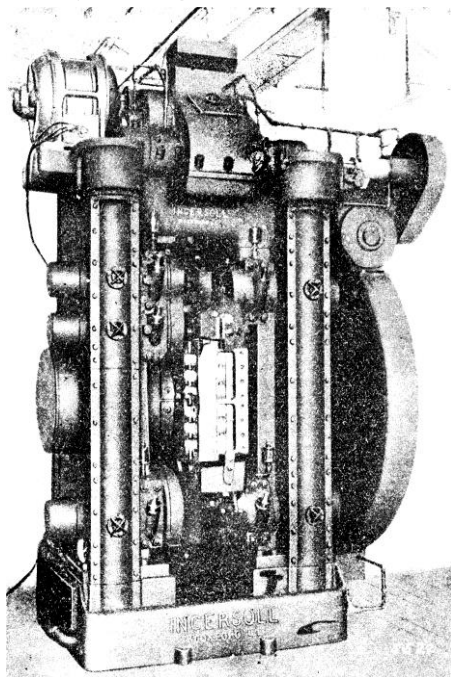
Dyke's Automobile and Gasoline Engine Encyclopedia. 15th., ed., Third Run—Revised 2nd., Printing. p.819 Fig.21.

4) '30年代のアメリカに観る専用機によるシリンダブロックの工作

以上は 1910 年代から'20 年代までのアメリカにおける事蹟であったが，ここからはしばし，'30 年代のアメリカ自動車工業においてシリンダブロックの工作に威力を発揮した専用

機群に眼を向けて行きたい。図Ⅲ-2-13 は Ingersoll Milling Machine Co.製 Rotary Milling Machine によるシリンダブロック上下面同時切削状況を示す⁷⁵。

図Ⅲ-2-13 Ingersoll 製 Rotary Milling Machine によるシリンダブロック上下面同時切削



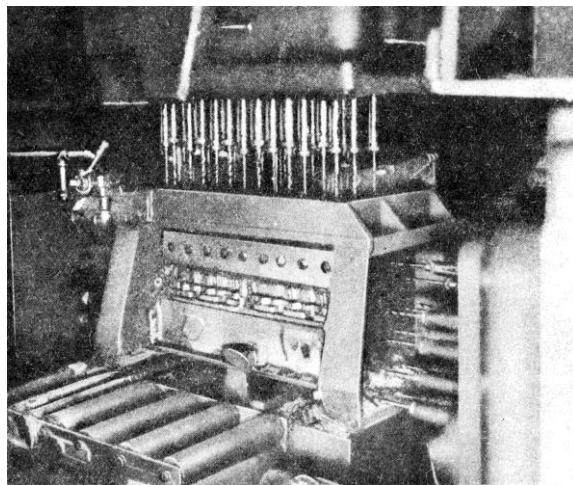
P.,M., Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. N.Y., 1939, p.148 Fig.4.

図Ⅲ-2-14 は Foote-Burt Co.の 3-way 多軸・多頭ボール盤による *Plymouth* 6 気筒ブロックへの穿孔状況を示す。この機械により大小総計 57 個の孔が穿たれ、リーマー仕上げされ、あるいは座ぐりされた。21 個の孔はシリンダヘッド取付用スタッド孔であった。本機は 1 時間に 76 個のブロックを工作可能であった。

⁷⁵ Ingersoll(→Camoszi Group[イタリア]の Ingersoll Machine Tools)は 1927 年に原初的なトランスファマシンを製作したと自称しているメーカーである。このロータリ・フライス盤は Graham-Paige の設備買収を通じて'36 年、日産自動車に導入された。筆者は旧著において労働省職業安定局『職務解説自動車製造業』1949 年、の記述に依拠しつつ、その工作状況を紹介したが、上下面同時切削という本機最大の特徴を外した「2 度くぐって」云々の推定的工程解説はこの機械とロータリ・テーブル型フライス盤との混同に起因する誤りである。拙著『開放中国のクルマたち』日本経済評論社、1996 年、42~43 頁、参照。

なお、この機械はアメリカでは単に Rotary Milling Machine と呼ばれていたが、わが国ではこれをロータリ・テーブル型フライス盤と明確に区別するため、ドラム型フライス盤あるいはドラム型フライス盤と呼ぶこともある。

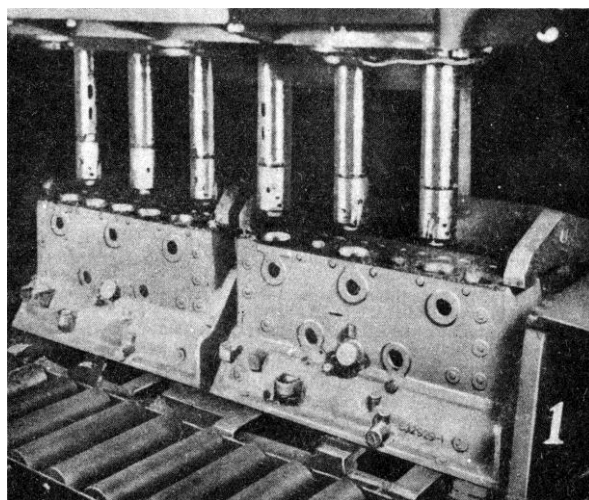
図Ⅲ-2-14 Foote-Burt 3-way 多軸ボール盤による *Plymouth* 6 気筒ブロックへの穿孔



ditto., p.149 Fig.5.

図Ⅲ-2-15 は Putnam Machine Co.の 6 軸中ぐり盤による *Plymouth* 直列 6 気筒ブロックの粗中ぐり状況を示す。粗切削に伴う機械的・熱的負荷を逃すためと観え、2 個のブロックの 1 つおきのボアが中ぐりされていた。*Plymouth* は Chrysler Corporation が'28 年に初投入した低価格車のブランドである。

図Ⅲ-2-15 Putnam 6 軸中ぐり盤による *Plymouth* 直列 6 気筒ブロックの粗中ぐり

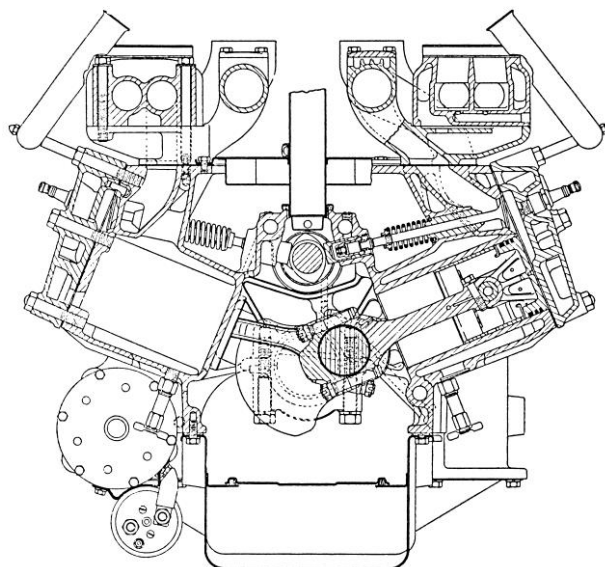


ditto., p.165 Fig.17.

Cadillac は GM のトップブランドである。図Ⅲ-2-16 はその中にもあっても戦前期の最高峰となる *Cadillac 90* 系に搭載された 16 気筒エンジンの横断面を示す。1938 年から'40 年にかけて製造された本機関は高さを抑えた SV 135° 広角 16V という特異なレイアウトと $3\frac{1}{4} \times 3\frac{1}{4}$ in.(82.55×82.55mm)のサイズ、即ち 7.07L もの排気量を有し、2 バレル降流式気

化器 2 個を得て最大出力 185HP/3600rpm を発揮する戦前期 GM の最上級乗用車エンジンである。シリンダブロックはクランク室上半部と一体の鋳鉄製で、設計合理化によりクランク室を別体 Al 合金化した構造よりも軽量化されていた。シリンダヘッドも鋳鉄製であった。

図Ⅲ-2-16 *Cadillac 90*系 16 気筒機関



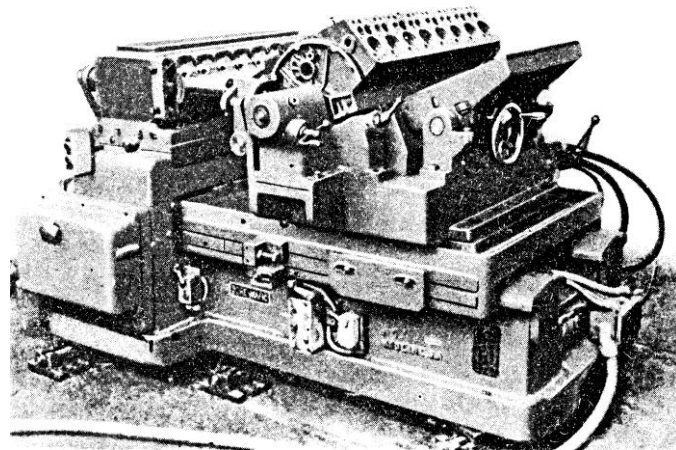
E.,W., Seaholm・富塚 清譯「キヤデираツク 16 気筒發動機の發達」『内燃機関邦譯文獻集』第 2 卷 第 3 號, 1938 年, 第 7 圖。

4 サイクル V 型 16 気筒機関においては一般に等間隔爆発が得られ動的バランスも実用上完全な 45° のバンク角が選ばれる。これを 135° としても同じ特性が発揮されるが、ここでの選択は完全に車体デザインを優先させた結果である。*90* 系は両翼にフェンダーを張り出したボンネットを持つ古典的スタイルを有していたが、ここにバンク角 45° の OHV 機関を収めるとすれば、その高さは乗用車としての許容限度を超えてしまう結果となる。また、SV 方式は部品点数削減によるコストダウンを狙う選択であった⁷⁶。

図Ⅲ-2-17 には Heald *Bore-Matic* シリンダ中ぐり盤による *Cadillac 90* 系 16 気筒ブロックのファイン・ボーリング状況が示されている。片バンクの 8 気筒が炭化タングステンの超硬チップ付きバイト各 1 本を用いて同時に軽切削で仕上げ中ぐりされた。

図Ⅲ-2-17 Heald *Bore-Matic* による *Cadillac V* 型 16 気筒ブロックのファイン・ボーリング

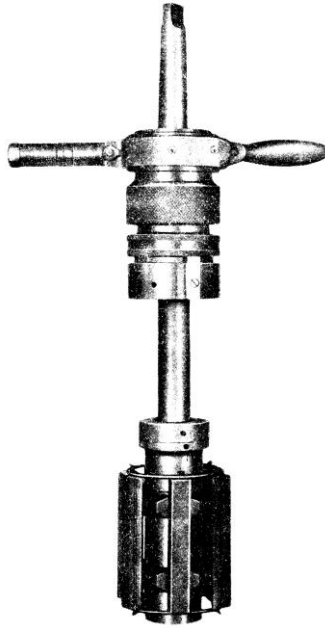
⁷⁶ E.,W., Seaholm・富塚 清譯「キヤデираツク 16 気筒發動機の發達」, 参照。



Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. p.153 Fig.7.

そして、この頃になれば、ファイン・ボーリングされたシリンダの内面仕上げは、少なくとも量産エンジンおよび非・量産エンジンの多くにおいては、シリンダ研削盤ではなく、ホーニング仕上によることが普通となっていた。図Ⅲ-2-18はHutto Engineering Corporation(米)のシリンダホーンを示す。ホーニング(Honing:研ぎ上げ)は1920年頃、Dodge Brothers(米→Chrysler)で開発され、自動車機関や航空発動機の生産・整備部に普及した加工法で、シリンダ仕上げの場合なら精密中グリないし研削仕上げされたその内面にホーン(Hone)と称する細粒で柔らかく細長い砥石数条をホーニング・ヘッドに長手方向に担持させつつ軽く正確に押し当て、研削油で目詰まりを防ぎつつ回転と送りをかけ、ワーク内面の表面粗度を向上させて行く研削法である。

図Ⅲ-2-18 Hutto シリンダ・ホーン



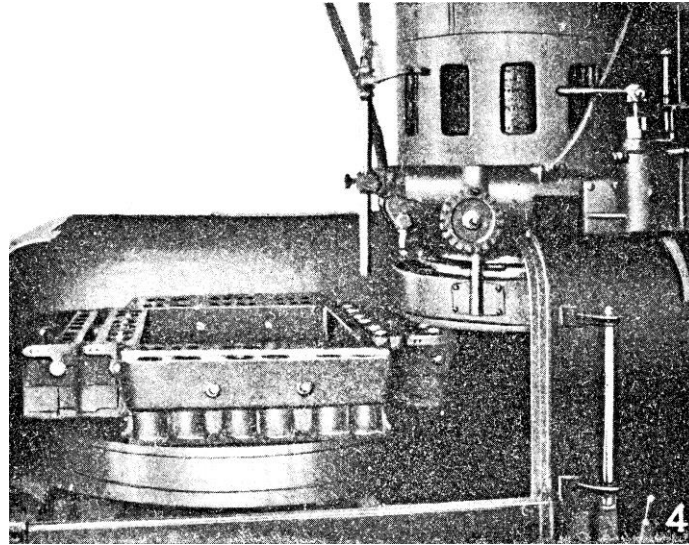
ditto., p.156 Fig.9.

Hutto の場合、押付けは円すい面の作用による機械式であったが、バネや油圧による方式も実用されていた。油圧式の場合、軟らかく粗目のホーンを用い、工作が進んでホーンとワークとの接触面積が増すに連れて油圧を上げて粗ホーニングを終え、続いて仕上げに移るといった工作法が採られることもあった。ホーニング盤は一般にワークのボア数に適合する多軸機として設計された。

なお、表面粗度をホーニングよりも更に向上させるための技術として'35年、アメリカにて超仕上げ(Super-finish)が開発された。これはホーンより更に粒度の細かい砥石を用い、回転と送りを併用しつつ、送りの前後方向に高い周波数の微小振動を重畳させて行く湿式研削法である。エンジン関係では Gisholt Machine Co.(米)のクランク軸超仕上げ盤などが知られている。

続いて、シリンダブロック表面の研削加工にも注目しておこう。フライス加工されたシリンダブロックの表面は必要に応じて平面研削盤によって仕上げられた。図Ⅲ-2-19 は大形の Blanchard 平面研削盤による直列 6 気筒エンジン用シリンダブロック上面の研削状況を示す。

図Ⅲ-2-19 Blanchard 平面研削盤によるシリンダブロック上面の研削



ditto., p.162 Fig.14.

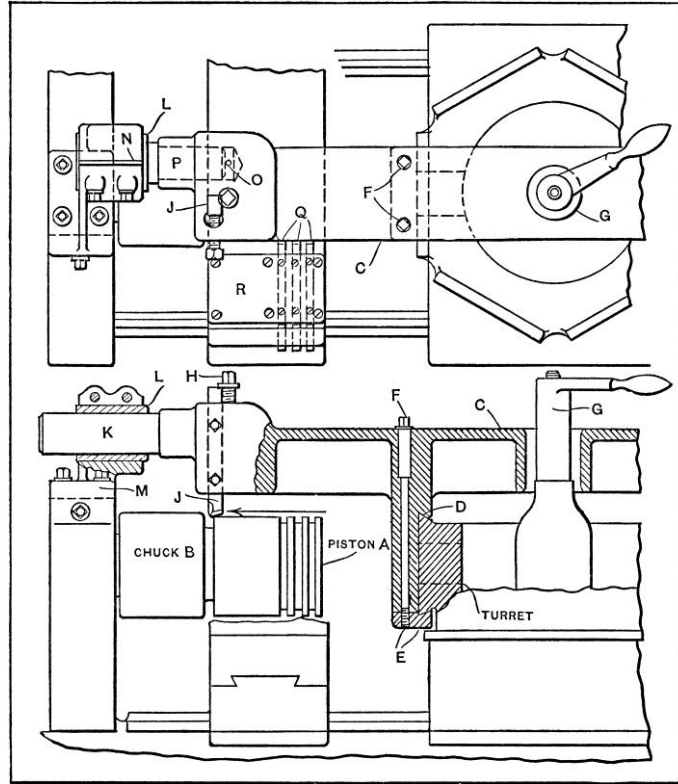
5) エンジン主運動部の工作

i) ピストンの工作

20世紀の初め、未だピストンが熱膨張を考慮して先すぼまりのプロフィールやピン方向にやや短くなった楕円断面に成形されていなかった頃、その外周切削にはごく普通のタレット旋盤が多用された。その際の取付具はピストンボスへのピストンピン孔穿孔に際しても活用された。'30年代の内にはピストンピン孔の仕上げをリーマからブローチに転換する例が出現した。

図Ⅲ-2-20は当時、Pratt & Whitney Co.が自動車機関のピストン旋削用に提供していた横型タレット旋盤の要部を示す。ワークAは拡張式チャックBによって拘束された。Jは外径旋削用、ブロックR上のQはリング溝旋削用のバイトである。

図Ⅲ-2-20 Pratt & Whitney Co.の自動車ピストン旋削用タレット工具



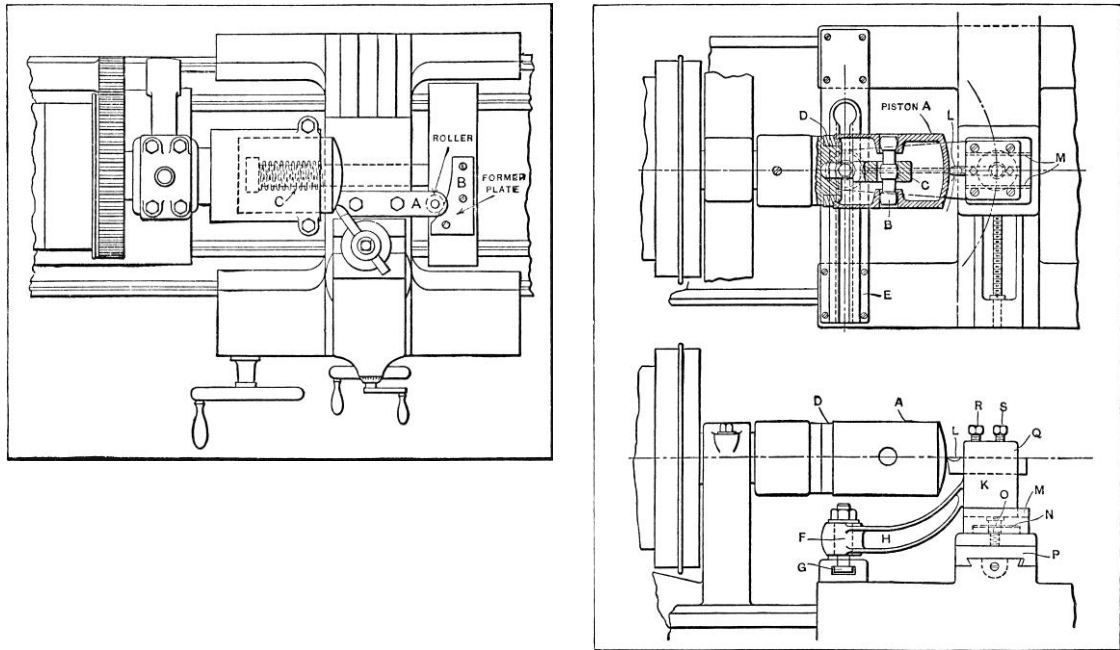
Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. VI, p.348 Fig.9.

外径旋削バイトを担持する鑄鉄製ホルダ C はタレットと主軸カバー上のブラケット M に取付けられたガイド K によって支持され、K の先端部 P を受入れるホルダには空気抜き O が明けられていた。なお、C そのものは両頭式となっており本図において省略されているその他端も同じ構造を有していた。恐らく、粗削りと仕上げ削りとに違い分けられていたのであろう。

ピストンクラウンが球面に成形される場合、球面旋削用アタッチメントを旋盤に取付けて倣い加工が行われた。図Ⅲ-2-21 に示す 2 例では右の方が量産向きの装置となっている。図Ⅲ-2-21 の左図において C は横送り台と往復台と工具台とを、そしてまた、A を通じてローラを型板 B に押付け、工具支持機構全体を型板 B に沿ってガイドさせるための強力なバネである。横送りハンドルを扱えば、ローラは型板 B を倣ってバイトを案内する。

図Ⅲ-2-21 右図には 2 人・4 台持ちで使用される旋盤用アタッチメントが示されており、ピストンはチャック上の位置決め環 D に対してピストンピン孔に挿入されたピン B をロード C が引き付けることによって拘束されている。往復台上の鑄鉄製ブラケット E に彫られた T 溝 G の軸芯直下部に立つスタッド F は鑄鋼製ブラケット H の支点となっている。M はアリ溝、P は横送り台で、横送りハンドルを扱えば、H は旋回せしめられ、その外端に設けられた工具台 K 上のバイト L は一点鎖線で描かれた円弧を描いてピストン A の頭部を球面旋削する。

図Ⅲ-2-21 球面旋削用アタッチメントによるピストンクラウンの球面加工

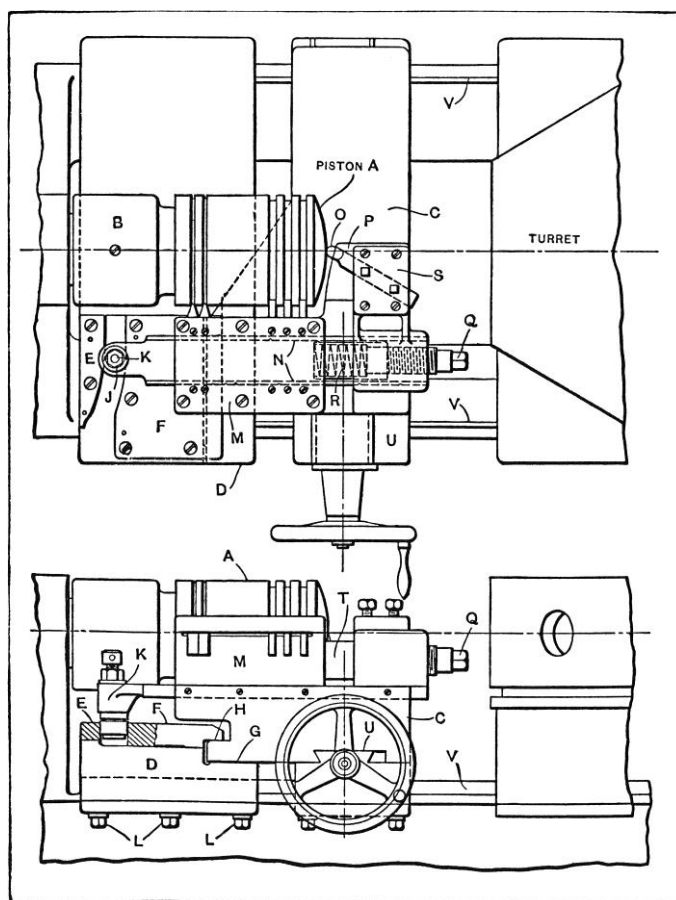


左 : Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V p.445 Fig.3.

右 : ditto., p.445 Fig.4.

図Ⅲ-2-22に示すものはタレット旋盤用アタッチメントで球面加工用倣い機構を備えた極めて量産性の高い多刃工具台となっていたが、倣い機構自体は図Ⅲ-2-21左のそれを高剛性化した程度のモノであった。アリ部やその他のガイド面は工具のクランプによる変形が出尽くしてから調整されねばならなかった。

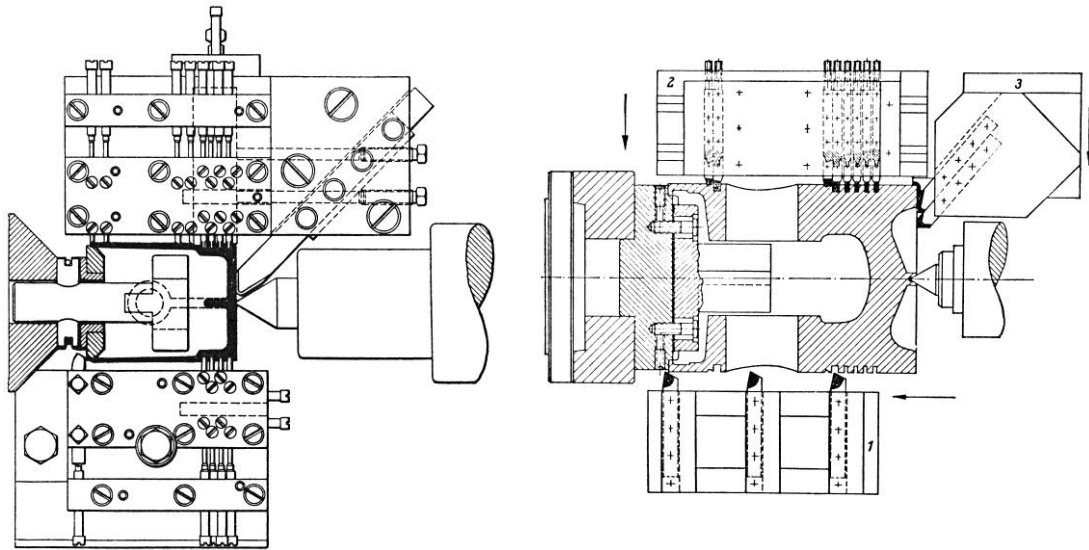
図Ⅲ-2-22 ピストンクラウン球面加工用倣い機構を備えたタレット旋盤用多刃工具台



ditto., p.446 Fig.6.

図Ⅲ-2-23 は斯界の定番品, Fay 型ピストン切削用自動旋盤の工具配置を示す. 左は'30年代のアメリカにおける実施例で, ピストン頭が心押しセンタによって安定的に支持されている. 前者においては外周および頭部の切削を同時に行うため, 14 本ものバイトが使用されている. ピストンクラウンの設計は平頭となっているが, 基本的なアプローチに従前との大きな相違は無い. なお, Fay の製品は Fay & Scott Machine Shop から'20 年代初めに Jones & Lamson Machine Company へとその製造が移管されている. 後者は'60 年代のイギリスにおけるディーゼル機関用ピストンの工作事例である.

図Ⅲ-2-23 FAY 型ピストン切削用自動旋盤の工具配置



’30年代アメリカ

’60年代英国(Churchill-Redman Ltd. Churchill-Fay)

左 : Heldt, *High-Speed Combustion Engines*, p.220 Fig.31.

右 : F., Koenigsberger・塩崎 進訳『工作機械の設計原理』養賢堂, 1967(原著’64)年, 170 頁, 図 242.

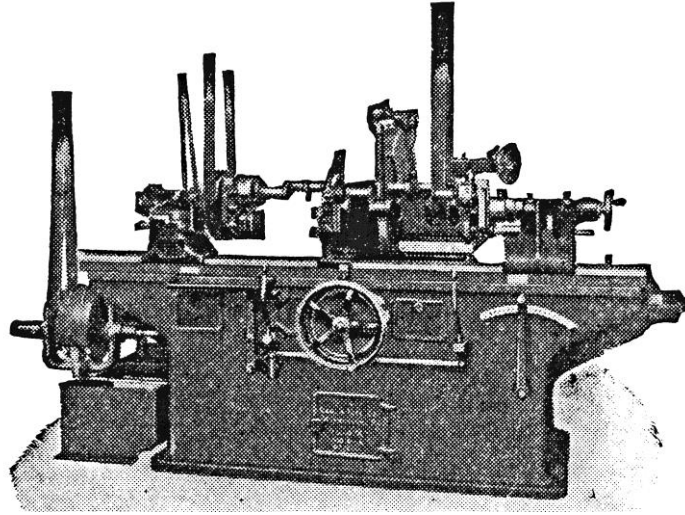
切削加工を終えたピストンの外周は円筒研削盤によって研削仕上げされた。ピストン外周研削の能率について, Norton の 10×36in.円筒研削盤により鋳鉄製自動車ピストン, 取り代 0.51mm で, 76.2φのもの 1 時間に 31.7 個, 79.4φのもの 1 時間に 27 個, 同条件で 101.6φの鋳鉄製自動車ピストン 1 時間に 25 個, 104.7φのものを取り代 0.76mm なら 1 時間当り 28.3 個, Norton の 6×32in.円筒研削盤による 85.5φの Al 合金製ピストンを取り代 0.64mm で 1 時間に 55.6 個, などという’30年代のデータが残されている⁷⁷。

図Ⅲ-2-24 は Landis Machine Co.(米)の製品で, ピストンのほかにピストンピン, クランク軸外径仕上げ研削にも用いられた円筒研削盤である。そのベッド上の振りは 16in.(406.40mm), 心間距離 66in.(1676.40mm)であった⁷⁸。

図Ⅲ-2-24 Landis の円筒研削盤

⁷⁷ 永澤謙三『研削仕事』共立社 實地工作法講座 第四巻, 1935 年, 163~165 頁, 参照。一部, 表記ミスを他の事例に揃えて修正の上, 計算。永澤は東京高等工藝學校教授。

⁷⁸ この Landis と現在の Landis Solution LLC.(米), Fives Group[フランス]の Landis との関係については不詳。



Dyke's Automobile and Gasoline Engine Encyclopedia. 15th., ed., Third Run—Revised 2nd., Printing. p.819 Fig.20A.

20世紀初頭のアメリカにおいては円筒研削における砥石車の周速として8000ft/min.(2438.4m/min.)といった高い値が選ばれることが例外的にあったものの、大方は5500~6500ft/min.(1676.4~1981.2m/min.)と比較的まとまっていた。表Ⅲ-2-2はこれに対応するワークの周速を材料、砥石の種類ならびに粗研削・仕上げ研削別に示す。

表Ⅲ-2-2 20世紀初頭のアメリカにおける円筒研削のワーク周速

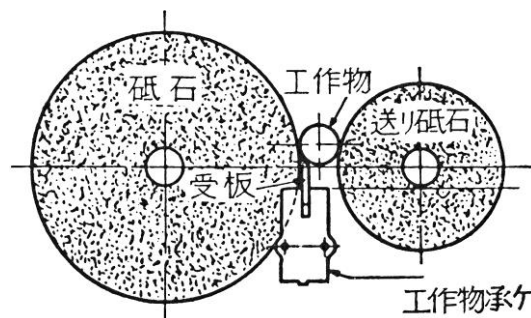
Material	Abrasive	Bonding Process	Grain	Grade	Surface Speed of Work in Feet per Minute	
					Roughing	Finishing
Aluminum (cast).....	Carbolite, carborundum, or crystolon	Elastic	{ 36 to 40 36 to 40 36 to 40	{ 2 E to 2½ E 2 4	60 to 70	60 to 70
Brass or Bronze (cast).....	Corundum, carborundum, or crystolon	Vitrified	{ 24 to 30 24 to 30 24 to 30	{ M to N L to M P		
Iron (cast).....	Carbolite, carborundum, or crystolon	Vitrified	{ 40 to 46 40 to 46 40 to 46	{ K to M L to N L to M	50 to 55	50 to 55
Alloy Steel, heat-treated.....	No. 38 alundum, No. 58 corundum aloxite	Vitrified	{ 24 comb. 24 comb. 40	{ L L J	20 to 25	30 to 40
Steel, 0.20 to 0.50 per cent carbon (soft).....	No. 38 alundum, No. 58 corundum aloxite	Vitrified	{ 24 to 36 comb. 24 to 36 comb. 36	{ L to M L to M M to O	25 to 30	40 to 45
Steel, 0.20 to 0.50 per cent carbon (hardened).....	Alundum, corundum, or aloxite	Vitrified	{ 46 46 36	{ K K P	30 to 35	50 to 55

アラランダム、アロキサイト、コランダム砥石において6000ft/min.(1829m/min.)、カーボライト、カーボランダム、クリストロン砥石において5500ft/min.(1676m/min.)の周速を前提。

Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.III, p.469, Table I.

なお、Cincinnati Grinders, Inc.(米→Fives Group[フランス])は1921年以來、丸い軸物の円筒研削向けにセンタ孔加工が不要、かつ、その工作誤差を見込んだ大き目の研削代を取る必要がなく、ワーク脱着に手間がかからず、砥石軸を動かして切込む操作も要らず誤操作も起らぬがゆえに高精度の研削が可能で、ワークの両側から削るため砥石の減りや修正頻度が抑制され、連続化も自動化も容易な心なし研削盤^{センタレス}の開発を始めていた(図Ⅲ-2-25)。センタレス研削盤は'20年代後半以降、この方面の工作に多用される運びとなった。

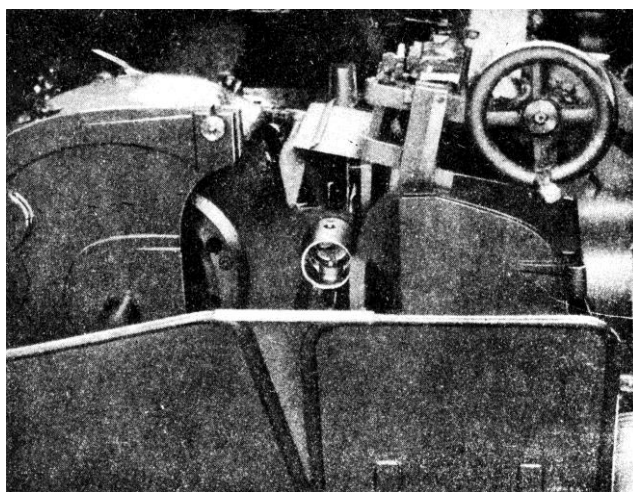
図Ⅲ-2-25 センタレス研削盤(円筒)の要部



永澤『研削仕事』168頁，第171圖。

特別なアタッチメント類を用いずに加工できるのは短いワークで、円筒および針状コロ軸受のコロや、エンジン関係なら、やがて触れるピストンピンなどはその典型をなすが、往時はピストン外周をこれによって研削する例(図Ⅲ-2-26)や自動車用鋳鉄製クランク軸のジャーナルをマルチホイールのセンタレス研削盤によって研削する例まで観られた。

図Ⅲ-2-26 センタレス研削盤によるピストン外径研削



Heldt, *High-Speed Combustion Engines*, p.223 Fig.34.

センタレス研削盤メーカーとしては Cincinnati Grinders, Inc., Heald(内面), B.S.A. Tools Ltd. (英: 円筒), Hahn & Kolb(ドイツ), Lidkoping(スイス)がパイオニアである⁷⁹.

ii) ピストンリング

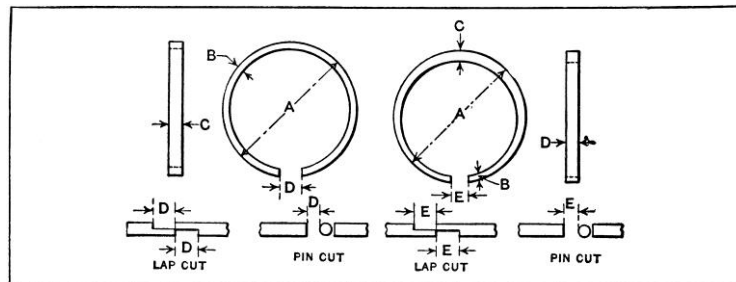
ピストンリングは小物部品ながら特殊な機能を担う重要な部品の一つである。当時、ピストンリングの材料はすでに鋳鉄を主とするようになっていた。しかし、ヨーロッパでは蒸気機関車や船用蒸気機関に Ramsbottom 以来の棒鋼を丸めたピストンリングが多用されており、蒸気ハンマには世界的にこれが適用されていた。折損の不安がなく、シリンダを傷付けぬからとの理由で鍛鉄が選好されることもあった⁸⁰。

20 世紀初頭のアメリカにおいてピストンリング設計は同心と偏心の二様に分たれていた。その形状およびサイズの規格は表 III-2-3 に示される通りであった。

表 III-2-3 20 世紀初頭のアメリカにおけるピストンリング規格

⁷⁹ 永澤『研削仕事』166~193 頁, 『グラインダー』88~93 頁, R.,S., Woodbury, *Studies in the History of Machine Tools. History of the Gringing Machine.* pp.11, 151~161, 184, 参照。

⁸⁰ 筑紫太郎「スチーム・ハンマの故障と修理」『機械工の友』1942 年 9 月号, によれば, その故障頻度はピストンリング折損, ピストン棒折損, 弁装置の摩耗による狂い, シリンダ摩耗の順であった。鋳鉄製リングは折損が頻発するため, 「私達は之のリングを JES(SF54(第五種鍛鋼))位のもので製作します。然し之は一面シリンダーの磨滅と言ふ事からは良くない様ですが, 鍛鋼は手近に有り又耐久力と言ふ點から缺點は補へると思ひます」, と記されている。



		Concentric Rings										
		Diameter of Cylinder, Inches										
Dimensions		6	8	10	12	14	15	16	17	18	19	20
		A		6 ⁵ / ₃₂	8 ³ / ₁₆	10 ⁷ / ₃₂	12 ¹ / ₄	14 ⁹ / ₃₂	15 ⁵ / ₁₆	16 ¹ / ₃₂	17 ¹ / ₃₂	18 ³ / ₈
B		3/4	5/16	13/32	15/32	9/16	19/32	5/8	11/16	3/4	3/4	13/16
C		5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	11/16	13/16	3/4	3/4	13/16	13/16
D		3 ⁵ / ₆₄	2 ¹ / ₃₂	2 ⁵ / ₃₂	7/8	1	1 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₈	1 ³ / ₁₆	1 ¹ / ₄	1 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂

		Eccentric Rings										
		Diameter of Cylinder, Inches										
Dimensions		6	8	10	12	14	15	16	17	18	19	20
		A		6 ⁵ / ₃₂	8 ³ / ₁₆	10 ⁷ / ₃₂	12 ¹ / ₄	14 ⁹ / ₃₂	15 ⁵ / ₁₆	16 ¹ / ₃₂	17 ¹ / ₃₂	18 ³ / ₈
B		3/16	1/4	9/32	11/32	13/32	7/16	15/32	19/32	1/2	7/8	9/16
C		9/32	11/32	13/32	15/32	9/16	5/8	11/16	11/16	3/4	13/16	7/8
D		5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	11/16	13/16	3/4	3/4	13/16	13/16
E		3 ⁵ / ₆₄	2 ¹ / ₃₂	2 ⁵ / ₃₂	7/8	1	1 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₈	1 ³ / ₁₆	1 ¹ / ₄	1 ⁵ / ₈	1 ¹ / ₂

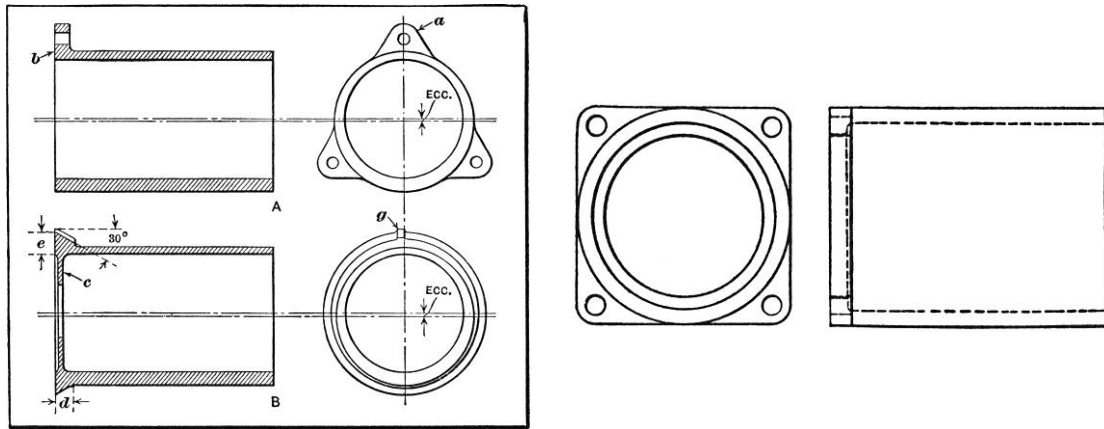
Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V p.82 Table.1.

ピストンリングは視力測定の“C”のような部品で，一般にはこれを鑄鉄の筒に吹いてから輪切りにし，合い口を切断した後，旋削，研削により仕上げていた。しかし，合い口を切れば残留応力のバランスが崩れ，棒鋼にラックを切れば反るように，合い口付近で曲率半径が増すため，カド当りを生ずるとともに，半径方向の圧力にムラを生ずる。即ち，合い口が12時の位置にあれば，その付近と6時付近とで接触面圧は高くなり，3次と9時付近では低くなる。

当時，リングの面圧に関しては等圧分布が最良とされていたため，合い口付近でリングの張力を減退させる方途として厚みを下げて行く偏心リングが開発され，自動車機関のピストンリングにおいて一時代を画すこととなっていた。もっとも，ピストンのリング溝は深さ一定であるため，この設計ではリングの厚みに逆相関して背後のすき間が増す結果となる。従って，偏心リングはリング背後の溝に無用のカーボン堆積を招きやすく，ピストンの姿勢制御機能にも劣る上，工作面でも何かと厄介であった。

図III-2-27はこれを筒吹きする際の“Pot”である。いずれにおいてもその底部には旋削に際して面板ないしチャックに取付けられた場合の変形防止を目的とするフランジが与えられていた。左図のAにおいてbはチャックに接する工作基準面をなす。Bは傾斜した爪を持つチャックにつかませるための仕様で，汎用されていた方式である。gは駆動用突起をなす。右は1930年代以降の仕様を示す。

図Ⅲ-2-27 偏心リングの“Pot” 3態

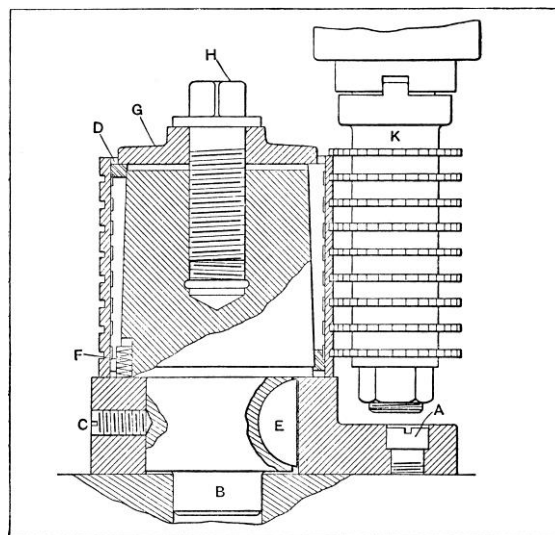


左 : Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.V p.89 Fig.13.

右 : Heldt, High-Speed Combustion Engines. p.173 Fig.2.

ピストンリングの機械加工はこの“Pot”を旋削，中ぐりし，輪切りにするという手順を踏んだ。図Ⅲ-2-28は筒吹きされた粗形材を偏心中ぐり・外周旋削した後，専用アーバに固定し，縦フライス盤によるGang-sawingによって切離す工程を示す。アーバ自体は回転テーブルの軸芯上に置かれた。偏心リングは薄い部分が折れやすいため切断中の折損を防ぐ工夫が肝要であった。

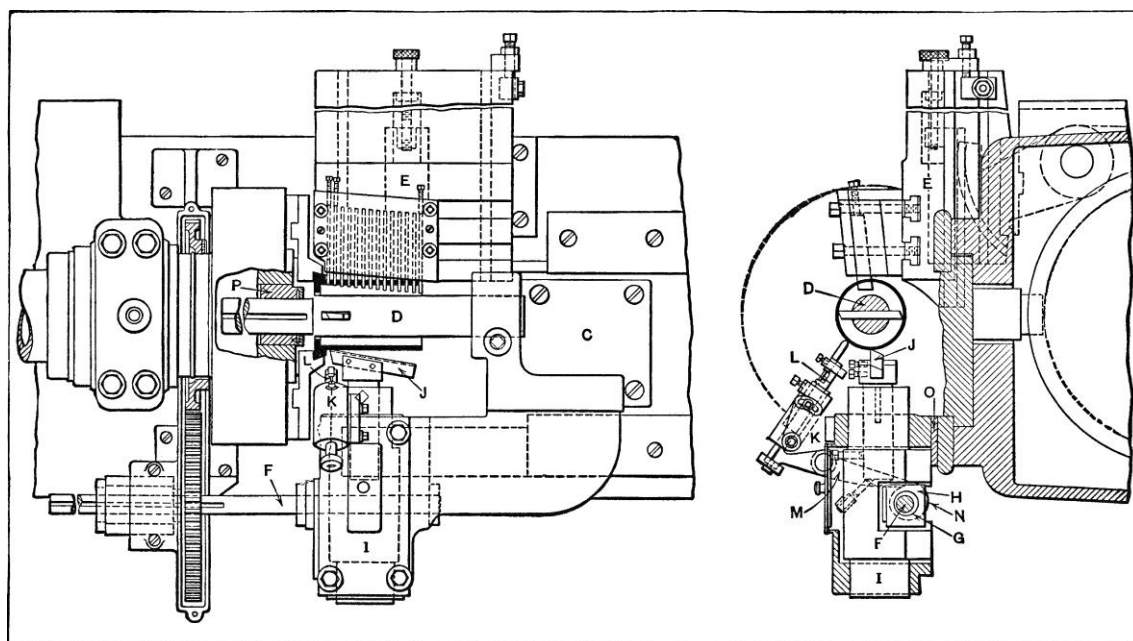
図Ⅲ-2-28 筒吹きされたピストンリング粗形材の切離し



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I p.117 Fig.18.

もつとも、20世紀初頭のアメリカ自動車工業界においては偏心“Pot”の旋削は内筒の軸を活かしてこれを回転させ、その中ぐりを行いつつ、外筒はカム機構によって進退を繰返すバイトに挽かせ、かつ、その輪切りも専用自動機により一連の動作として進める技術が一般的となっていた。図Ⅲ-2-29はこのための専用自動機を示す。黒塗りのワークは図Ⅲ-2-27左のB型である。

図Ⅲ-2-29 偏心“Pot”の旋削・中ぐり・輪切り専用自動機



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V p.83 Fig.3.⁸¹

Jが外径偏心旋削用バイトでNがこれを進退させるカム。Dは中ぐり棒、Eは輪切り用の突っ切りバイト14本をくわえ、ワークの頂部から輪切りを行わせるための工具ホルダのスライドである。

ただし、リング粗形材の中ぐりを行わず、内周面を黒皮のままとすることも可能で、却ってこの方が強度的には優っていた。この場合、ピストンのリング溝はやや深めとすることが一般的であった⁸²。

輪切りにされたピストンリングの外周は重ねた状態で小形ないし専用の円筒研削盤によって研削に回されることになるが、この重ね合わせの前提となるのみならず、完成したピストンリングのガスタイト性にとって非常に重要である側面の仕上げ=平行性の確保とリン

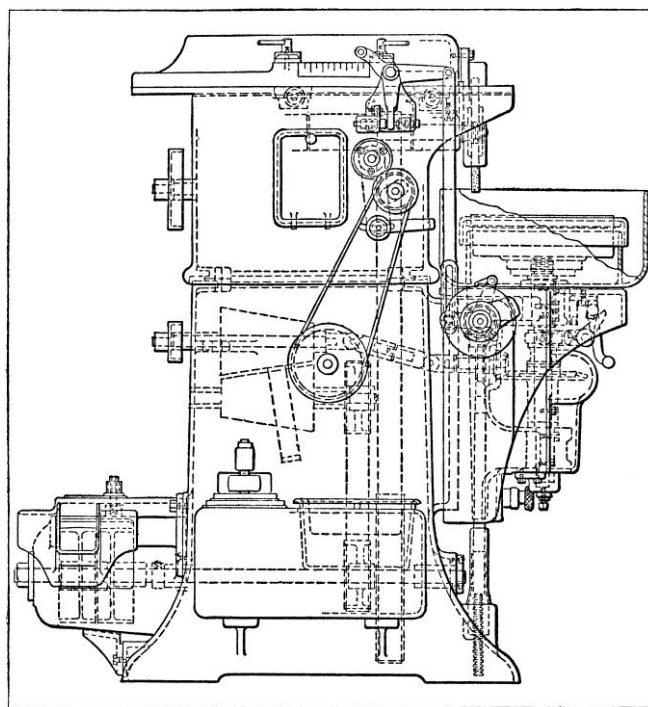
⁸¹ *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. II p.523 Fig.5* もこれと類似。

⁸² cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.86.*

グ幅(厚み)の決定が先決であった。当時、これには Rotary Disk and Surface Grinder, 通称 “ピストンリング” 研削盤、なる専用機が使用されていた。

図Ⅲ-2-30 において横軸の砥石車が右上に小さく見えており、その下に多数のワークを磁気チャックで拘束する回転テーブルが控えている。リングの幅はテーブルの昇降によって制御された。砥石車は軸方向(図では右方)へと送られた。外周部と中心付近とにおける研削速度を一定に保つため、テーブルの回転数は砥石車の前進に合わせて高められるようになっていた。破線で描かれた円すいプーリがこれに与っていたようである。

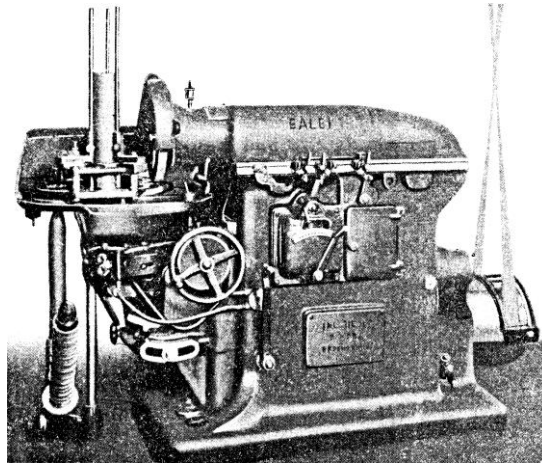
図Ⅲ-2-30 20世紀初頭のアメリカ製ピストンリング側面研削盤



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. III, p.442, Fig.15.

図Ⅲ-2-31 は 1930 年代以降の Heald 製ピストンリング研削盤で、図Ⅲ-2-30 の機械に比して大幅にコンパクト化されていたとは言え、原理的には同工であった。2 枚の砥石車で多連装ホルダ入りワークの両面を研削する Gardner Machine Company(米→Fives Group[フランス]か?)型平面研削盤が登場したのは'40 年前後であったかと想われる。

図Ⅲ-2-31 Heald のピストンリング研削盤



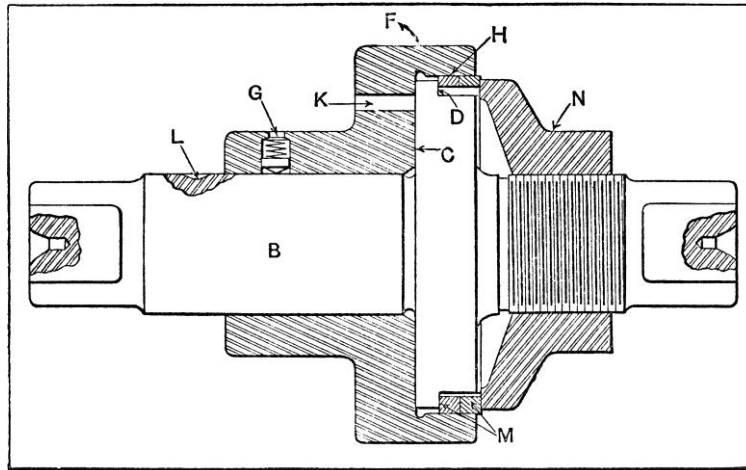
Heldt, *High-Speed Combustion Engines.*, p.188 Fig.10.

続く工程は円環の一部を切って合口を付ける工作である。当時はガスタイト性を確保する意図から直角合い口ではなく段付き合い口や斜め合い口などが多用されていたから、この工作は相当、面倒になっていた。文献にはこの切削は **Hand Milling Machine** によったと記されているが、その図やデータは掲げられていない。もっとも、それは道理で、**Hand** などと言っても送りが人力によっていただけのことで、その正体は短行程の軽切削に好適な小形汎用フライス盤であったに過ぎぬ⁸³。

ピストンリングの外周研削はリングをシリンダ挿入状態に置いた上で円筒研削盤によって実施されねばならない。図Ⅲ-2-32 にそのための専用アーバの一例を示す。M がワークとなる 2 本の偏心リングである。アーバにはフランジが設けられ、その表面 C, D は精密に研削仕上げされていた。F はこれに被さるスリーブで、その内面 H はシリンダボアに等しく、やはり精密に研削仕上げされていた。ここにワークをすぼめて嵌め込み、ナット N で D 面に圧着させた後、F を左方にシフトさせて移動止め G がくぼみ L に合致した所で止め、ワーク外周の研削を行った。K は F のシフトを楽にするための空気抜きである。

図Ⅲ-2-32 ピストンリング外周研削用アーバ

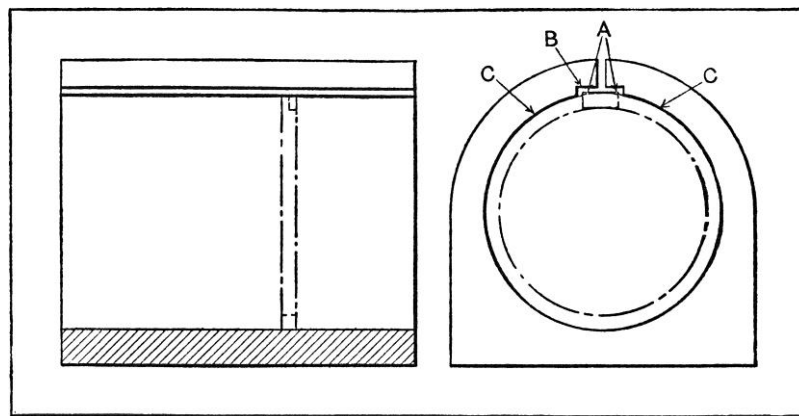
⁸³ cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol.IV p.396.



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.85, Fig.5⁸⁴.

これではしかし、一度に研削可能なリングの数に限りがある。この難点を克服させたのが図Ⅲ-2-33, -34 に観る取付具とアーバとのペアであった。図Ⅲ-2-33 に示される取付具にはシリンダボアに等しい内径のトンネルが穿たれていた。すぼめられ、合口を 12 時の位置に揃えた状態でここに嵌め込まれたワークは図に示される限りでは同心リングであり、その内周面は一点鎖線で表示されている。トンネルの天井には“⊥”断面のスリットが切られており、リングは自らの張力によってこのスリットを若干押し広げつつ、その段付き合い口先端外周カド A, A をシリンダボアに相当する円周の外側へと少々はみ出させる。

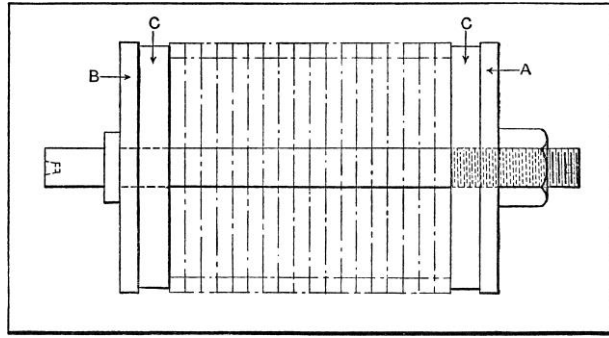
図Ⅲ-2-33 ピストンリング取付具



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.85, Fig.6.

図Ⅲ-2-34 ピストンリング外周研削用多連装アーバ

⁸⁴ *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement., Vol. I, p.117, Fig.19* もほぼ同じ。



ditto., P.85 Fig.7.

この状態でリングのボアに図Ⅲ-2-34のような多連装アーバが挿し込まれ、多数のワークを積層圧着した状態で取付具から引抜かれ、アーバごと円筒研削盤にかけられた。件のはみ出し部は研削によって除去され、供用時の強いカド当りが防がれた。

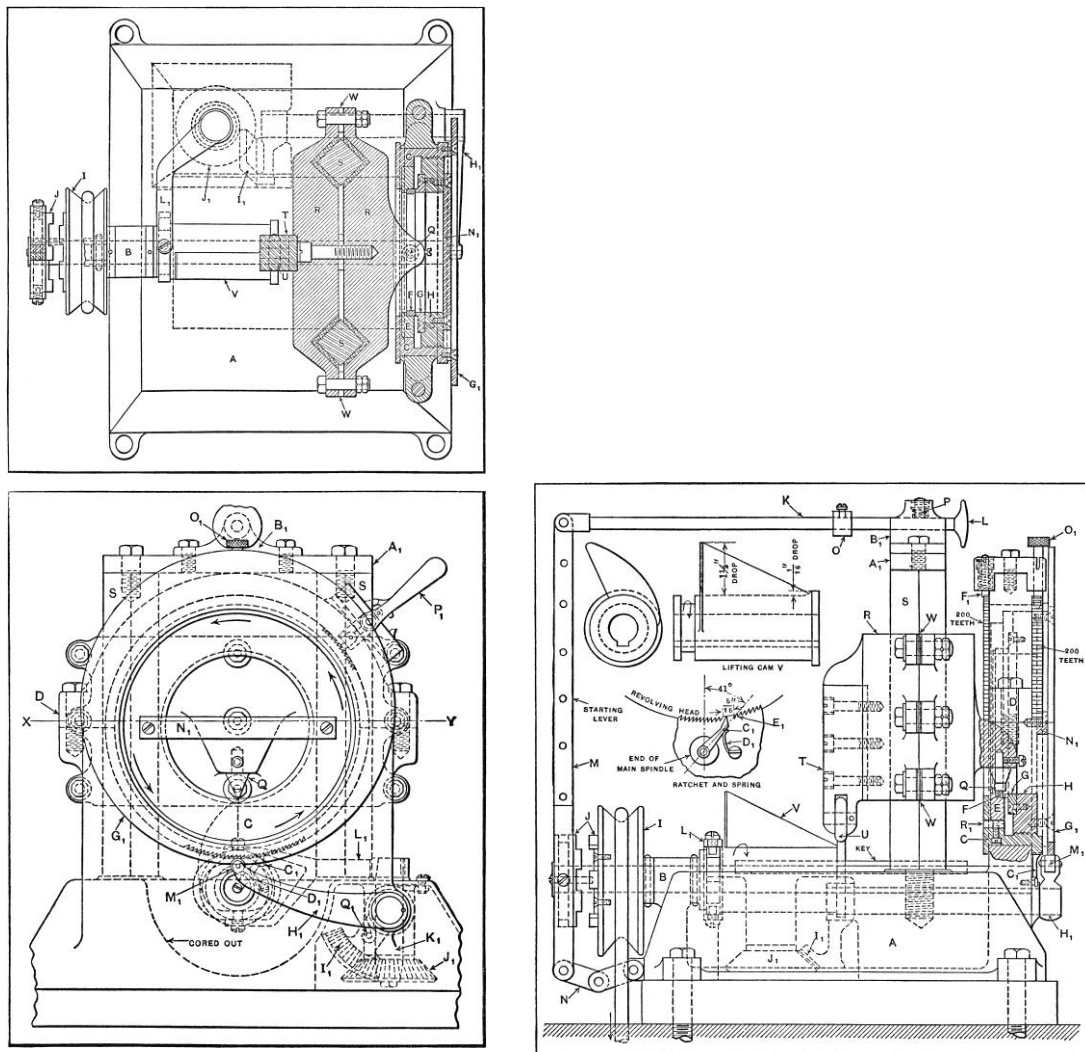
なお、これは偏心リングについてのモノではあるが、助手1名に26本を1つのアーバに取付けさせ、取り代0.38mmにて外周を円筒研削する能率として1時間に520本というデータが記録されている⁸⁵。

当時から、同心リングにおける接触面圧均等化を図る方途として合い口を設けた後、内周をピーニングし、蒸気機関車との係わりの中でも触れられた、所謂、ハンマード・リングとする方法があった。面圧均等化を図るには合い口を12時に置けば、6時の位置に対する打撃を最強とし、5, 4, 3, 2, 1時あるいは7, 8, 9, 10, 11時と段階的に弱められた打撃を重ねて行く所作が必要であった。当初は人手による打撃に依存せざるを得なかったこの工程も、やがて垂直面上にセットされたリングを水平軸回りに回転させつつ、その内周面に立体カム仕掛けで回転角度に即して与えられたリフトからハンマを繰返し落下させて行く自動 Peening Machine(図Ⅲ-2-35)に委ねられた⁸⁶。

図Ⅲ-2-35 同心ピストンリング自動 Peening Machine

⁸⁵ 永澤『研削仕事』163頁、参照。

⁸⁶ cf., *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*, Vol. V, pp.87~89.

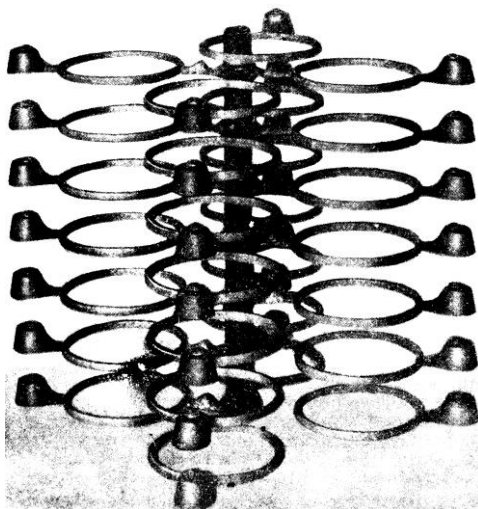


Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. V, p.87 Fig.10, p.88 Figs.11, 12.

なお、鋳鉄製ピストンリングの製造法としては筒吹きが一般的であったが、Ford 社においては 20 世紀初めから一本吹きが実用されていた(図Ⅲ-2-36)。筒吹きによる一工場では 22 人の作業者が 1 日当り 32500 本のリングを採る 2500 個の“Pot”を吹いており、その生産性は 1 人 1 日当り 1477 本に相当した。これに対して、Ford の 1 本吹き工場では 5 名が 4160 本のリング、即ち 1 人 1 日当り 832 本が実績であった。一見、非生産的に映る成績ではあったが、金属材料の節約と鋳造不良の低減、機械加工の工数削減、冷却速度の均等性由来する製品の品質を総合すればこの不利は挽回された。大方の鋳造不良は機械加工前に発見され、廃却も 1 本単位で行われ得た。リング内周面は工数削減と強度および耐久性向上を図るために中ぐりせず、黒皮のまま置かれた⁸⁷。

⁸⁷ cf., *ditto.*, pp89~90.

図Ⅲ-2-36 一本吹きピストンリングのクリスマスツリー状粗形材



Heldt, *High-Speed Combustion Engines.*, p.174 Fig.3.

やがて、ピストンリングの一本吹きはアメリカ内燃機関工業界における支配的な工法へと推転し、いつの頃からか、リング粗形材個々の形状も合い口を切って縮めた時、真円に近くなる形に予め設定されるようになったようである。そして、現在でもこの吹き方は鋳鉄製ピストンリング製造法の主流の地位に留まっている。

今ではピストンリングは材料、構造、製造技術ともに高コストパフォーマンスを追求した進化を遂げ、スチール・リングが普及した。しかし、伝統の鋳鉄製リングも健在である。

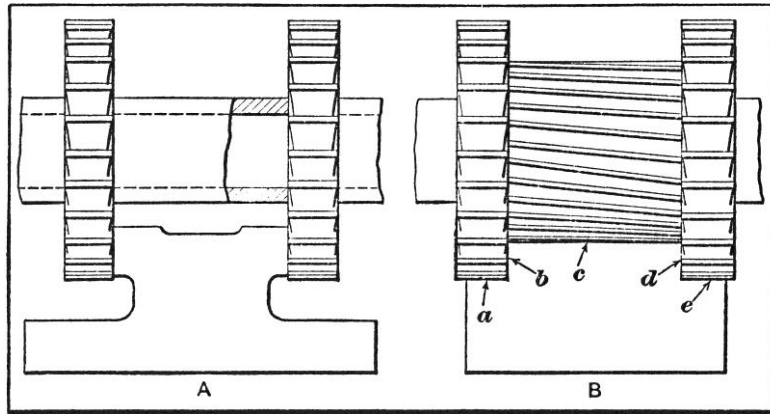
iii) ピストンピン

ピストンピンは通常、鋼管から製造され、浸炭焼入れの後、上述の通り、センタレス研削盤によって外径を研削仕上げされた。

iv) コネクティングロッド

コネクティングロッドの機械加工はフライス加工(倣い加工およびストラドル・ミリング[図Ⅲ-2-37])と孔明け加工とに大別されるが、フライス加工については要するに治具を用い、しっかりと拘束して削るばかりのコトであり、さして興味深い情報は得られていない。

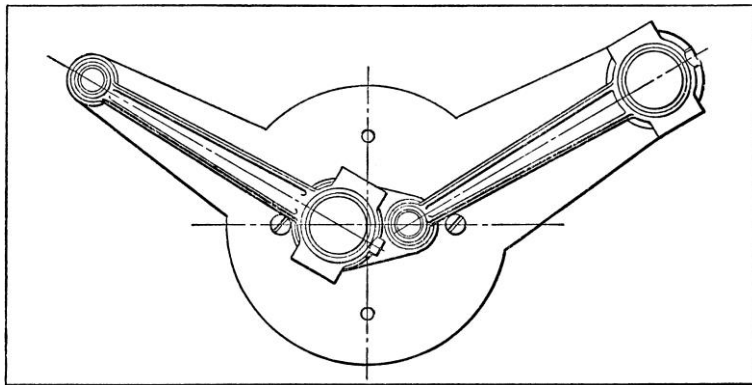
図Ⅲ-2-37 Straddle Milling と Gang Milling



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV p.403 Fig.5. (A), (B).

進歩の跡が観察されたのは孔加工の方である。即ち、20世紀初頭のアメリカにおいては自動車機関のコネクティングロッドの大端および小端孔の加工において鍛造粗形材への“穿孔→中ぐり→リーマ仕上げ”から“穿孔→ブローチ仕上げ”への移行が観察された。ベアリングキャップとロッドとの一体鍛造粗形材には先ず、孔の位置にブローチのシャンクを通すための大小の孔が穿たれた。この孔径はブローチ加工される孔の直径に対して $0.015\sim 0.018\text{in.}(0.381\sim 0.457\text{mm})$ のサイズであった。穿孔された2本のワークは取付具に固定された。取付具を用いる方がワークの安定に優り、生産性は高かった(図Ⅲ-2-38)。

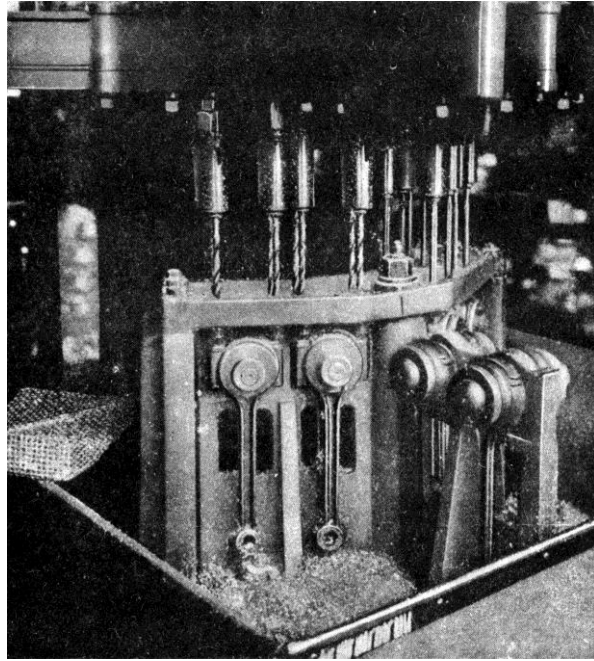
図Ⅲ-2-38 2本のコネクティングロッドの取付具へのセット



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I p.512 Fig.8.

ブローチ盤は1本のロッドの小端と他の1本の大端とを同時に引抜いた。よって、1工程当りに1本を完成させたことになる。ブローチ加工後、各部を平フライスやストラドル・ミリング仕上げされたロッドは大端部ベアリングキャップ締付ボルト孔の穿孔とタッピングに回された。図Ⅲ-2-39は専用多軸ボール盤によるこの工作状況を示す。

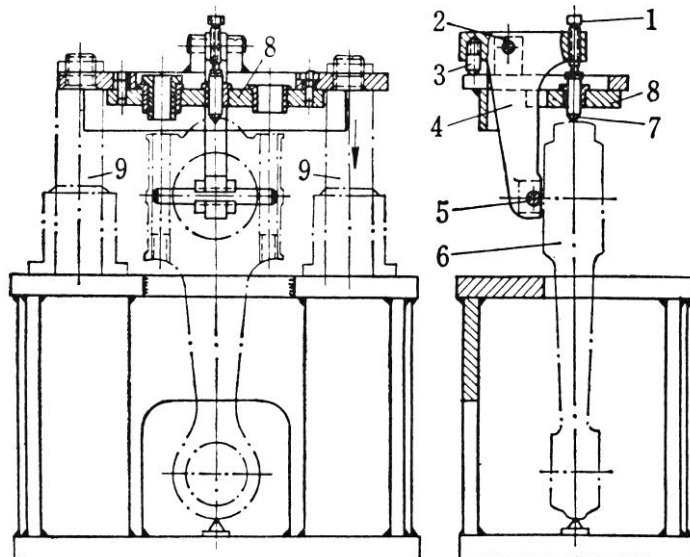
図Ⅲ-2-39 多軸ボール盤による大端部ベアリングキャップ締付ボルト孔の穿孔とタッピング



Heldt, *High-Speed Combustion Engines.*, p.243 Fig.15.

なお、多軸盤を用いず、空圧シリンダに取り付けられた治具板(8)とレバー(4)とによってワーク(6)を固定し、1つずつ穿孔する伝統的にして非量産的な工作法の例を図Ⅲ-2-40として掲げておこう。

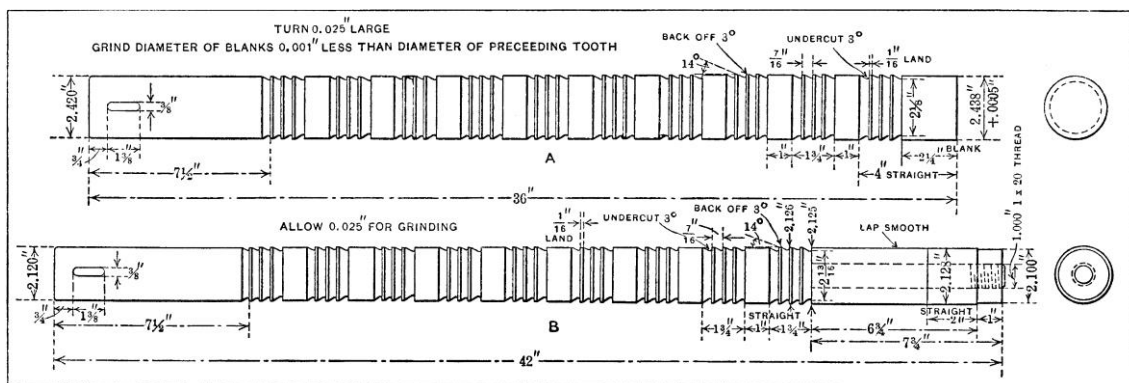
図Ⅲ-2-40 簡単な治具を用いる大端部ベアリングキャップ締付ボルト孔の個別穿孔法



M.A.Ahchepob・長谷川一郎訳『治具設計の理論と実際(Ⅱ)』大河出版, 1970(原著66)年, 88頁, 図7・20.

続いて、ベアリングキャップ部はメタルソーで切断され、キャップとして仕上げられた後、軸受メタルを嵌め込んだ結合状態で改めてブローチ加工を施された。小端にもブシュが圧入され、ブローチ加工された。図Ⅲ-2-41はこの時、大端部と大端部に組込まれた軸受メタルの仕上げに用いられたブローチを示す。

図Ⅲ-2-41 大端部の孔および軸受孔仕上げに用いられたブローチ



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I p.513 Fig.9.

なお、ベアリングキャップを一体鍛造粗形材から分離させるより、当初から別体成形しておく方がキャップおよびロッド大端部形状の最適化に要する工数は少なく、有利となる。このため、'30年代のアメリカ自動車工業界においては鍛造粗形材段階からこれを別体成形する工作法が拡大しつつあった。この場合、接合面やボルトボス側面の工作は表面ブローチによることが一般的となった。

v) クランク軸

クランク軸の製造様式は鍛接、曲げ、自由鍛造、削り出し、型鍛造、RR鍛造、組立、鋳造に大別される⁸⁸。

鍛接は錬鉄時代の工法である。曲げは鍛錬比のごく小さい鍛造で、曲げクランクは疲労強度に優れ使用現場での交換が不如意な可搬式機関に愛好されたが、機関全長を詰めたい設計にとって、その間延びした形状は頂けぬ。

自由鍛造＝火造りは芋鍛造とも俗称され、余肉たっぷりの粗形材を成形する。今でも巨大な鍛造粗形材は自由鍛造によって成形されるしかない。そこから機械加工によって大量の切粉を出して成品を得ることになる。

⁸⁸ 粗形材製造を含むクランク軸の技術史については拙稿「クランク軸技術史」(→IRDB)、参照。

厚板からの削り出しは旧弊な工法で、クランク軸の長手方向に走る鍛流線を断ち切る手口となるため、このテのクランクに高い疲労強度を期待することは難しい。よって、実用に供するためには肉厚を余分に付与してかかることになる。

欧米においては'30年代から戦時下にかけて小物部品から小形機関用クランク軸の粗形材鍛造やバリ取り工程におけるハンマから鍛圧プレスへの部分的移行が観察されているが、大形高速ディーゼル機関用クランク軸粗形材の鍛造の如きには重厚な基礎工事を要さぬ各種のカウンターブロー・ハンマが多用されていた。この違い分けは境界線がアップシフトしたとはいえ、ほぼ通時的に観察される現象である。

重量数トンを超える中形ディーゼル機関用クランク軸ともなれば型鍛造は困難である。さりとて、これを自由鍛造→削り出しで造っていたのでは工程煩雑に過ぎ、組立式で軽くかつ強く造ろうとすれば材料や加工に特別な配慮が必要となり費用が嵩む。この不満を解消すべく生れたのが型押し鍛造の代表、RR鍛造法である⁸⁹。

RR鍛造法においては節付きに荒地成形された棒材の加工部を部分加熱し、その左右を驚掴みにして中央寄りに据込みつつ“ずらしパンチ”を真中に押し込み、1スローずつ形成を繰り返す。素材は各スロー毎に割出しつつ挿入されるため、通常の型鍛造による粗形材とは異なり、ジャーナル部での捻りは一切無い⁹⁰。

RR鍛造クランク軸粗形材は自由鍛造→機械加工品と比べ鍛流線が切断、捻転されぬため疲労強度が30~40%増しとなる他、材料が大きな鍛錬比を以って鍛錬されるがゆえに製品の組織が健全となる。粗形材は余肉が少ないため素材として不純物管理の容易な小形鋼塊を充当することが出来、加熱・鍛錬時間が短縮されエネルギー消費が少なく、機械加工時間も短縮される。中型4サイクル船用ディーゼル機関の高過給・高出力化を可能にした一大要素はこのRR鍛造法によって製造された高疲労強度の一体型クランク軸粗形材であった⁹¹。

⁸⁹ RR鍛造法は戦時下、フランスで開発され、戦後、世界に普及した。わが国では神戸製鋼所高砂製作所がこれを導入し、大形ディーゼル用の組立式クランク軸とともに同社は中~大形クランク軸の世界におけるトップメーカーとなった。

⁹⁰ RR鍛造前の節付け荒地成形は量産品ならリデュース・ロールで転がせば速いが、非量産品の場合には適当に振れ止めを手配した上で長尺旋盤によって旋削されることになる。

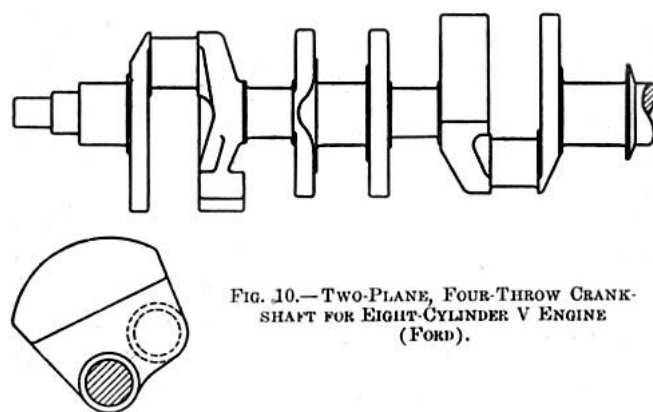
⁹¹ 宮下幸好・早良俊昭「RR鍛造法によるクランク軸の製作と機械加工」(『マシナリー』1956年4月号)、磯貝 誠他『ディーゼル機関 II(熱機関体系7)』山海堂、1956年、126~127頁、日本船用発動機協会『日本漁船発動機史』1959年、135頁、裏表紙見返り広告、神戸製鋼所『神戸製鋼所70年』1974年、87頁、『神戸製鋼八十年』1986年、60頁、参照。

なお、型鍛造とRR鍛造を合体させたようなTR鍛造なる工法もT., Rutに依って開発され中国辺りでは実用されている。しかし、我国においてはRR鍛造が先行普及していたため、TR鍛造法は導入されていない。

組立式及び半組立式は安易，低級な工法に見られかねぬが，船用大形低速ディーゼル用クランク軸や往時の空冷星型航空発動機用クランク軸の主流は両方式にある（前者は鍛鋼あるいは鋳鋼品，後者は鍛鋼品）。

鋳造（鋳鉄）クランク軸はもっぱら低級なエンジン用に用いられて来たが，'32年，生産技術の一大革新によって新境地を拓いたのはGM積年のライヴァル Ford である。T型の独壇場を喪失し，続くA型においても劣勢を余儀無くされた Henry Ford は失地回復策として次期大衆車への90° V8 機関搭載の断を下した。これは直列6気筒の長いクランク軸を忌避した彼らしい決断でもある。そして，この英断を生産技術面で支えたのが鋳鋼技術の革新によるクランク軸（図III-2-42）であった⁹²。

図III-2-42 Ford V8 機関用鋳鋼クランク軸



Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. p.263, Fig.10.

これも3軸受式。

当該の鋼種は加工が難しく，工具には特殊な高速度鋼が用いられ，切削速度は鍛鋼の場合の55%，送りは鍛鋼なみ，回転工具の速度は35~40%とし，工具摩耗を防ぐため敢えて重切削が選ばれた。鋳鋼化によって粗形材の形状精度が高められたため，鍛造粗形材に比して8ないし12の機械加工工程が省略され，切粉の量は11kgから4kgへと激減した。余肉削減，とりわけピンの中空化とこれに対応する釣合錘の軽小化により仕上り重量も30kgから25.5kgへと激減せしめられ，機関性能も向上した。もともと，振り振動対策として後年，クランクピンは0.5in.増径されている。

⁹² 以下の記述は Cast Steel Crankshafts. New Electric Furnace at Ford Co. of Canada.

Automobile Engineer. Jul. 1935, F.,J., Walls/築山閔二訳「クランク軸の鋳造に就て」

『日本機械學會誌』第41巻第257号，1938年(*Automotive Engineer*. Mar. 1938の記事摘録)，他に拠る。

粗機械加工の後、ワークは全点トルク試験に供され、仕上げ加工を後にはバックトルク試験に供された。印加トルクは何れも 45000in.-lb.(517.8kg-m)であった。これは計算上、このクランク軸に運転中、作用すべき最大トルクの 10 倍に達し、鍛造クランクであれば弾性限に近い値でもあった。鋳鋼軸の弾性は鍛鋼軸と同程度であったが、逆方向反復振り試験で明らかにされたその疲労強度は鍛造品の 2 倍強に達した。疲労強度一般についても芯から表面まで一定の硬度を有するこのクランク軸は鍛鋼品の 2 倍強と評価された。更に、鋳鋼は油との馴染みが良く摩擦損失の低減も実現した。

もっとも、この重厚な鋳鋼技術体系は 1947~'48 年、イギリス鋳鉄研究協会の H., Morrogh による Ca-Si, Ca-Mg 添加型片状黒鉛球状化成功や'48 年、アメリカの Internationai Nickel Co.や Mond Nickel Co.による Mg 処理法の確立を契機とするダクタイル(球状黒鉛)鋳鉄の世界的普及以降、自動車機関用クランク軸の生産技術としては陳腐化を余儀無くされることになる⁹³。

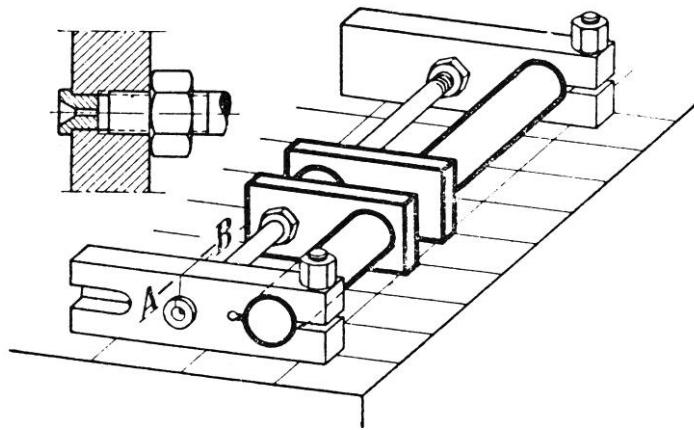
ここでの主題であるクランク軸の機械加工に眼を転ずれば、クランク軸旋盤にせよクランク軸研削盤にせよ、単一¹の概念としてそれらにカテゴリズ可能な機械は永らく存在しなかった。クランク軸を扱う旋盤でも大物、非量産品加工に当る機種は古来、汎用旋盤や汎用タレット旋盤に近いモノに専用の偏心アタッチメント、所謂“ダルマ”を付けたものが用いられて来たし、自動車の普及以降、量産品に属するクランク軸は完全な専用機による工作へと移行したからである。この点はクランクピン研削盤についても同様である。

何れにしても、ワークの芯出しに係わるジャーナルないしフランジは普通旋盤によって予め旋削されることを常とした。量産品加工においてフライホイール取付け孔を穿孔、リーマ仕上げされたフライホイール取付フランジはワークの芯出しと駆動、および偏心チャッキングに好都合となる。とは言え、この工作の原理的解説には大物ないし非量産加工品におけるクランクピン旋削の古式が他の何にも増して好適である。

図Ⅲ-2-43は定盤上においてクランクピン両センチ加工用の偏心取付具をワークに装備する状況を示す。

図Ⅲ-2-43 定盤上におけるクランクピン両センチ加工用偏心取付具装備

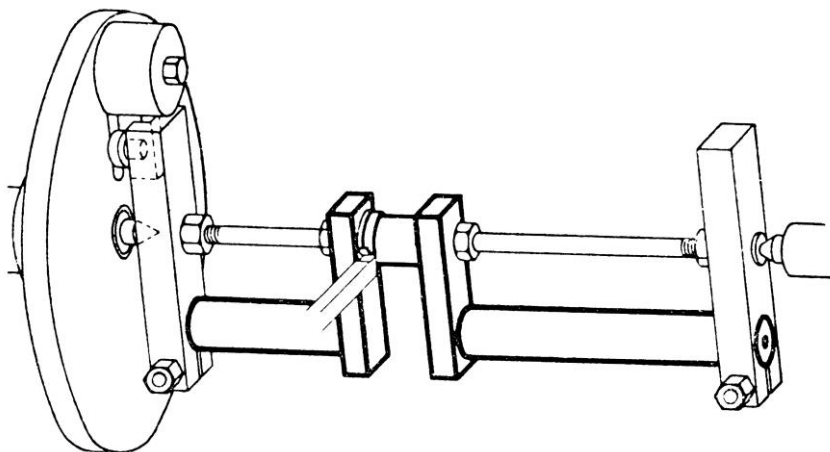
⁹³ 球状黒鉛鋳鉄については岡本正三「新材料“球状黒鉛鑄鐵”の解説」『機械の研究』第2巻 第8号, 1950年, 吉原幸一・紅谷和男「ノデュラー鑄鉄」同, 第5巻 第1号, 1953年, 参照。V型8気筒エンジンのバランスングについては拙稿「三菱航空発動機技術史 第I部」, 「クランク軸の技術史(上): 乗用車直列エンジンと V8 は、動的なバランスで静かに」『ツールエンジニア』 Vol.59, No.5, 2018年4月(→IRDB), 参照。



山口貫一・堀 謙作『旋盤仕事』上巻，共立社 實地工作法講座 第1巻，1935年，95頁，第186圖。

図Ⅲ-2-44はクランクピン両センタ加工用偏心取付具を装備したワークのクランクピンを旋削する状況を示す。

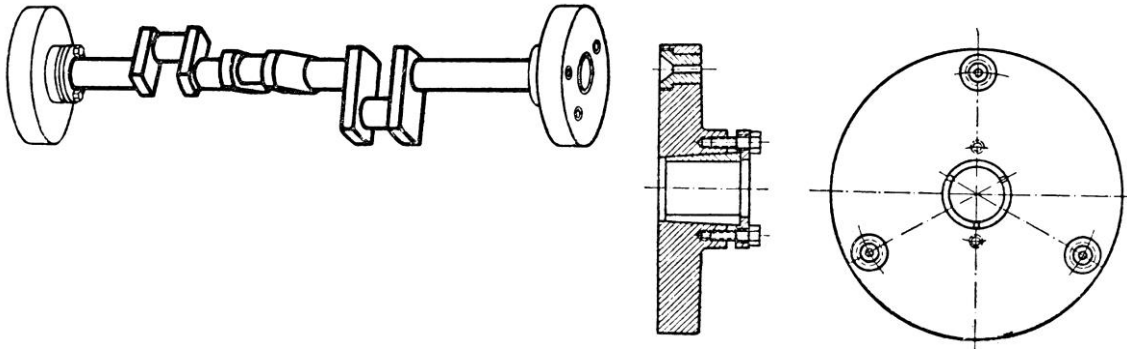
図Ⅲ-2-44 両センタ加工用偏心取付具装備状態でのピン旋削



同上書，95頁，第187圖。

図Ⅲ-2-45は複数のスローを有するクランク軸のクランクピン旋削用偏心取付具の一例で，船用焼玉機関用と思しき 120° 3スロー・クランクにおけるそれである。円盤金具と両端ジャーナルとの結合は三ツ割テーパ・カラーによっており， 120° に割振られたブシュ入りの孔はセンター孔である。

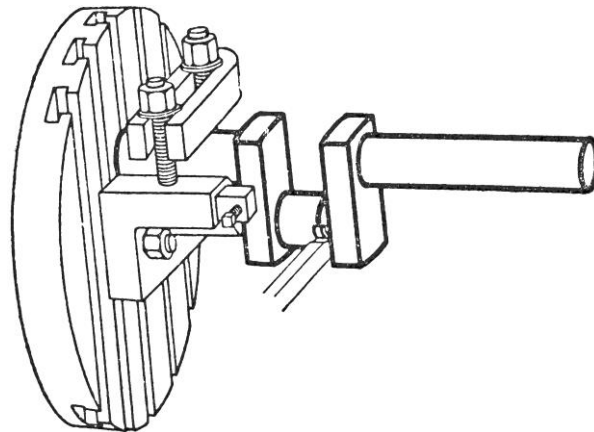
図Ⅲ-2-45 120° 3スロー・クランクピン旋削用偏心取付具



同上書，95 頁，第 188, 189 圖.

図Ⅲ-2-46 は 2 個までのスローを有する比較的短いクランク軸のピン旋削に用いられる偏心取付具の例を示す.

図Ⅲ-2-46 比較的短い 1 スロー・クランクピン旋削用偏心取付具

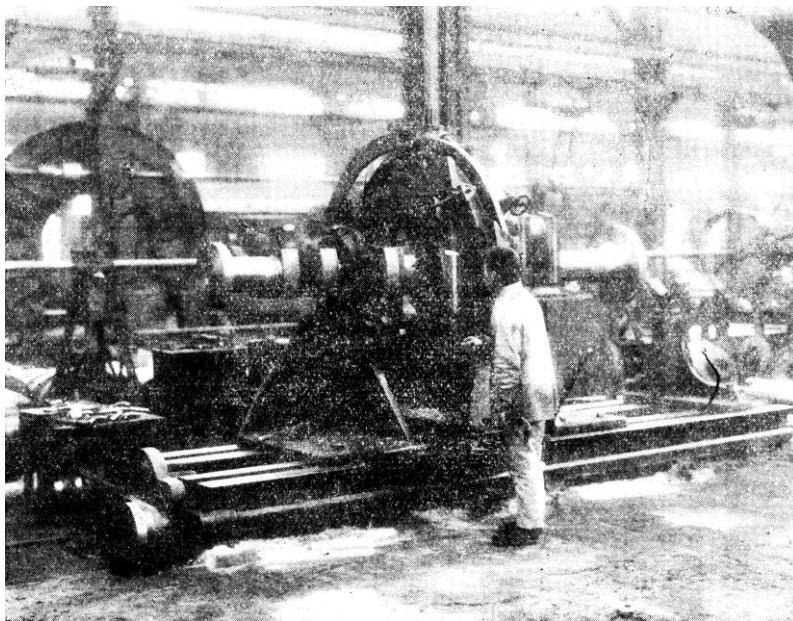


同上書，96 頁，第 190 圖.

さて、クランクジャーナルの旋削ならまだしも、クランクピンの旋削はワークを偏心させ、釣合錘でバランスを取りながらの旋削となる以上、ワークが大きくなるほどに、その不釣合い振動によってピンの工作精度が低下する事態は避け難い。一般に内燃機関はサイズが大きくなるほど回転数が低い。クランク軸ねじり振動の危険速度回避のため、その固有振動数は実用回転域を超えたところに設定されねばならぬが、低回転で用いられる大きなクランク軸にヤタラに高い固有振動数を与える所作はムダとなる。つまり、大形機関のクランク軸は小形高速機関のそれのように高固有振動数＝高剛性には造られていない。前者を偏心させて回せば不釣合いによるたわみは高い固有振動数を持つ高速機関用クランク軸の比ではなくなって道理である。

この点を衝いて開発されたのがクランクピン旋盤なる専用機である。これはクランク軸を静止させておき、ターニング・ヘッドに固定されたバイトをピンの周りで回転させて切削するシカケである(図Ⅲ-2-47)。

図Ⅲ-2-47 ワーク固定型クランクピン旋盤(中形)の稼動状況



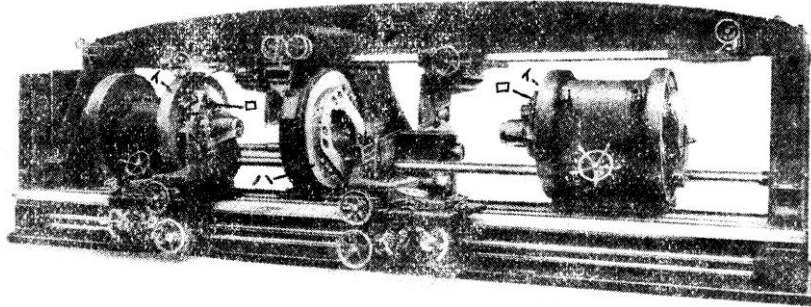
永井「發動機工作法一陸・船・車輛用發動機一」210頁，第17圖。

もともと、ワークのサイズに応じて機種サイズが規定されねばならぬから、様々なサイズのエンジンを製造する重工業会社でそれらを幾つも取り揃えるのは物やりであり、また、このメーカー名不詳の特殊な専用機を使いこなせる熟練工の人数にも限りがあった。図Ⅲ-2-47はディーゼルメーカーとして存在感を發揮していた当時の神戸製鋼所におけるスナップであろうが、かような専用機を保有する工場は少なかったようである。

中以下のクランク軸向けには同じ頃、ワークを真ん中で掴んで駆動する専用機が開発されており、図Ⅲ-2-48にその外観を掲げておく。永井は「時間と労力との経済は非常なもので、且つ容易に精確な仕上がが得られるが、何分高級品であつて高價な爲、主として小型用のものが用ひられ中型や大型機關用では稀に見る所のものである」と述べている。残念ながら、これが大して普及したようにも見受けられぬ。また、本機についてもメーカー名は明らかにされていない⁹⁴。

⁹⁴ 軸旋盤や車軸旋盤においては図Ⅱ-49に観た Lodge & Shipley や Consolidated Machine Tool Corp. of America の Betts-Bridgeford ブランドに Center Drive 方式で往復台を2~4個備えたモノがあり、本機との関連性が推測されるが、判断材料はない。後者については cf., *Locomotive Cyclopedia of American Practice*. 9th., ed., 1930, p.1115.

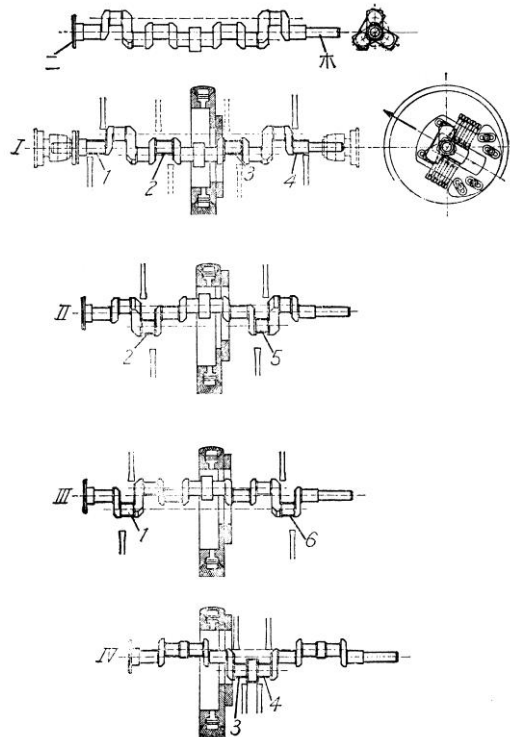
図Ⅲ-2-48 中・小型クランク用ワーク 3点支持・中央1点駆動式クランク軸旋盤



同上, 213 頁, 第 19 圖, より.

図Ⅲ-2-48 においてイは面板, ロはその上を半径方向に移動し得るクランク軸取付具, ハは中央軸受で, その中に駆動機構が収められている. つまり, ワーク 3 点支持・中央 1 点駆動方式である. この機械による工作の手順は図Ⅲ-2-49 のとおりで, 先ずは予備的工作としてワーク両端部(ニ, ホ)を普通旋盤によって旋削しておく. 次に I として両端を拘束し, 軸を中央で掴みながら両端のイ, ロとともに芯出しを行った後, 駆動を開始してジャーナル 1, 2, 3, 4 を同時に粗→仕上げ旋削する(バイトは同時に 4 本まで使える).

図Ⅲ-2-49 中・小型クランク用ワーク 3 点支持・1 点駆動式クランク軸旋盤による工作要領



同上, 215 頁, 第 21 圖.

IIにおいては駆動部が軸をつかむ位置を半行程ずらして両端支持部と芯出しし、ピン 2, 5 を回転の軸芯に置き、これらを同時に粗→仕上げ旋削する。

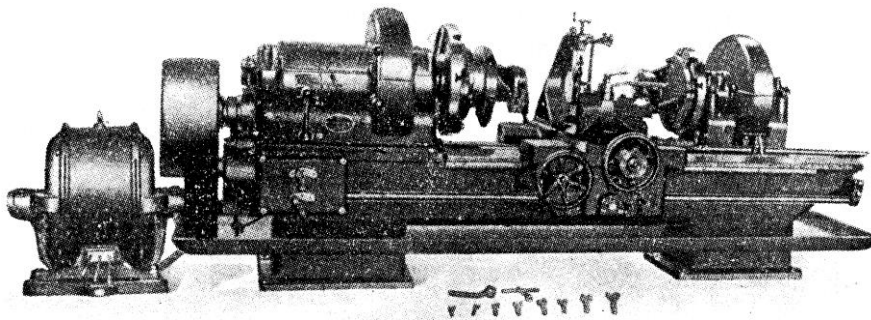
IIIにおいては軸を再び I の位置に戻してから 120° 割出し、半行程ずらした状態で芯出しし、駆動してピン 1, 6 を同時に旋削する。

IVにおいては同様にしてピン 3, 4 を旋削する。

神戸製鋼所技師長 永井が虚偽を語っているとも想えぬが、これで「時間と労力との経済」が「非常なもの」というのも十分意外ではある。実勢としても、中・大形機関用クランク軸の旋削はその後も永らく古式に則って行われることが多かったように見受けられる。

他方、同時代には小形高速機関のクランク軸工作用にワーク両端支持、両端駆動式のクランク軸旋盤が提供されていた。図 III-2-50 がそれで、ワークの駆動はそのねじれを嫌って両端の支持部によって行われ、工作としてはジャーナル、ピンの旋削、面取り、ウェブに旋削が可能となっていた。左側ヘッドストックは変速機構を収め、右側のテイルストックに対してベッドの真ん中を貫通する軸によって動力を供給した。両主軸に取付けられた駆動金具はネジにより偏心量を 0~89mm(3 1/2 in.……アメリカモノか?)まで設定でき、左側主軸には 12 等分の割出し装置が付属していた。刷得主軸には当然ながら適宜、釣合錘が取付けられるようになっていた。残念ながら、本機についてもメーカー名は伏せられている。

図 III-2-50 ワーク 2 点支持、2 点駆動式小形クランク軸用旋盤



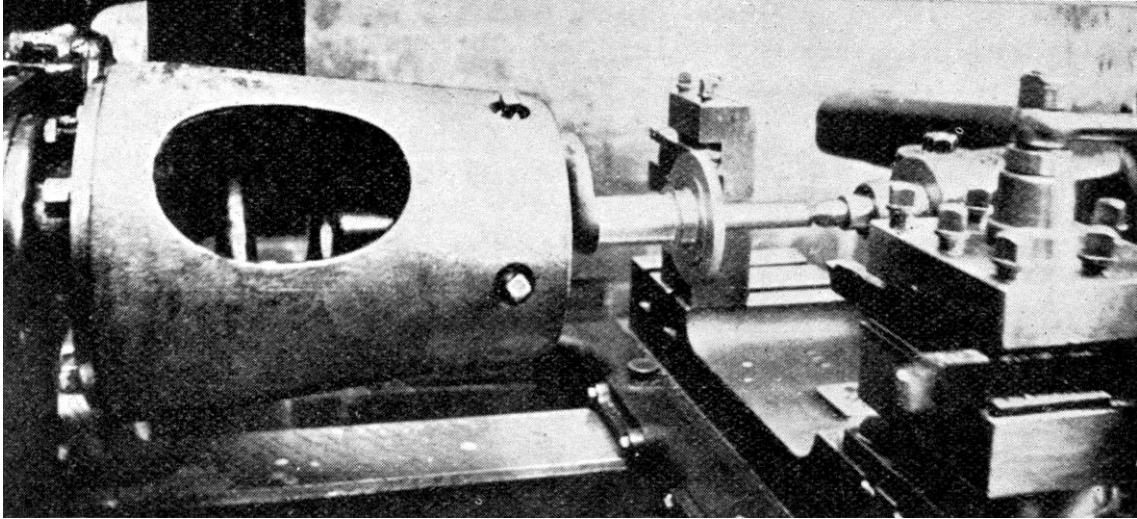
山口・堀『旋盤仕事』上巻, 178 頁, 第 302 圖.

その電動機は 10HP, 主軸は 20~115rpm の 4 段変速で、送りは 3.3~0.23mm の 10 段階に制御された。往復台上の振りは 460mm, 心間距離=工作可能なクランク軸の最大長さは 1397mm, その最大ストロークは 178mm であったから、自動車用ガソリン機関クラスから船用・機関車用高速ディーゼルのクランク軸程度までは十分に対応可能な機容であった。

図 III-2-51 はイギリスの例であるが、ヨリ小さいクランク軸の旋削状況を示す。ここでは旋盤の面板に対する一種の取付具たるベルチャックを用いて自動車機関用クランク軸のフライホイール取付フランジ外周が旋削加工されている。ベルチャックはつかみにくく変形

しやすいワークを保持するための取付具であり、種類を異にする比較的長いクランク軸にも対応可能である。

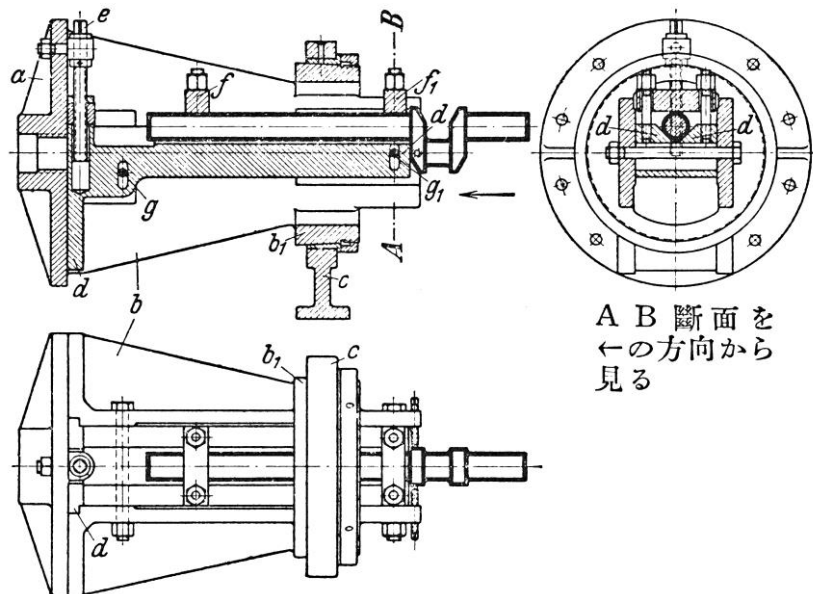
図III-2-51 Bell Chuck を用いた自動車用クランク軸フランジの旋削加工



Lord Montagu of Beaulieu and M.,W., Bourdon, *Cars and Motor-Cycles*. Vol. II, p.519 Fig.6.

図III-2-52 はベルチャックを用いて船用焼玉機関のそれともしき長い1スロー・クランク軸のクランクピンを削る方案を示す。これは自動車機関とは対照的な典型的非量産加工の情景であった。

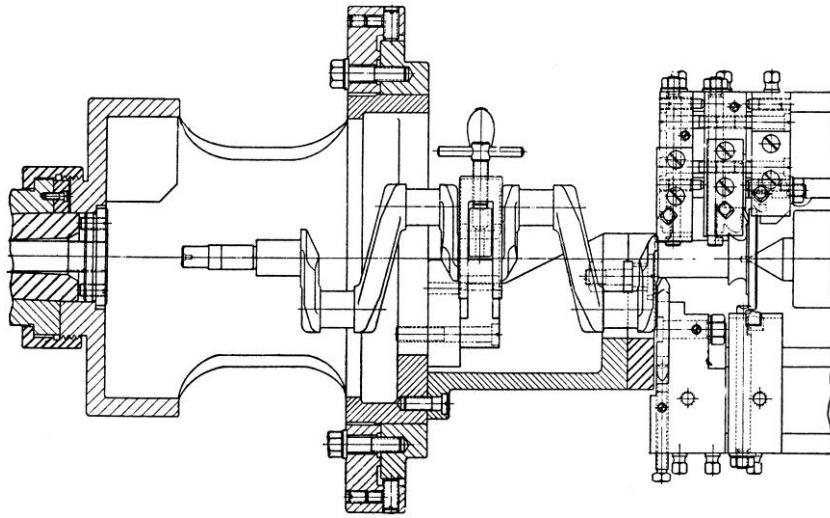
図III-2-52 Bell Chuck を用いたクランクピン旋削加工方案



山口・堀『旋盤仕事』上巻， 96 頁， 第 191 圖。

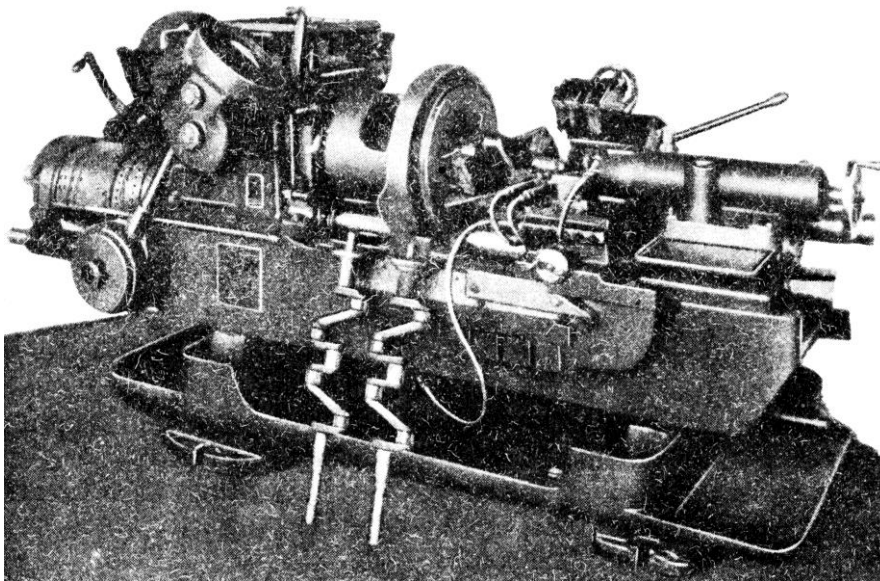
このように観て来るとベルチャックを用いる製造は非量産的であり，少量生産や修理に適した工程のようにも映ろうが，'30年代のアメリカにおいては自動旋盤とこれを組合わせてクランク軸後端のジャーナルとフライホイール・フランジとを高能率で切削する技術が確立していた(図Ⅲ-2-53, -54).

図Ⅲ-2-53 ベルチャックを活用したクランク軸端加工用 Fay 自動旋盤の要部



Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. p.274 Fig.17.

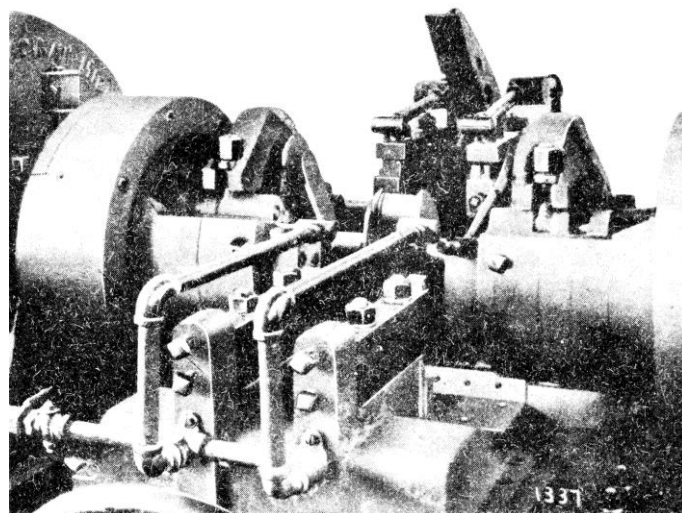
図Ⅲ-2-54 ベルチャックを活用したクランク軸端加工用 Fay 型自動旋盤の外観



ditto., p.276 Fig.18.

繰返しにはなるが、クランクピンの旋削においては一般にワークを偏心チャッキングすることが行われていた。図Ⅲ-2-55 の Wickes Brothers(米)製クランクピン旋盤においてはこのようにして2個のピンが同時に旋削された。バイトは4本使用されたか？

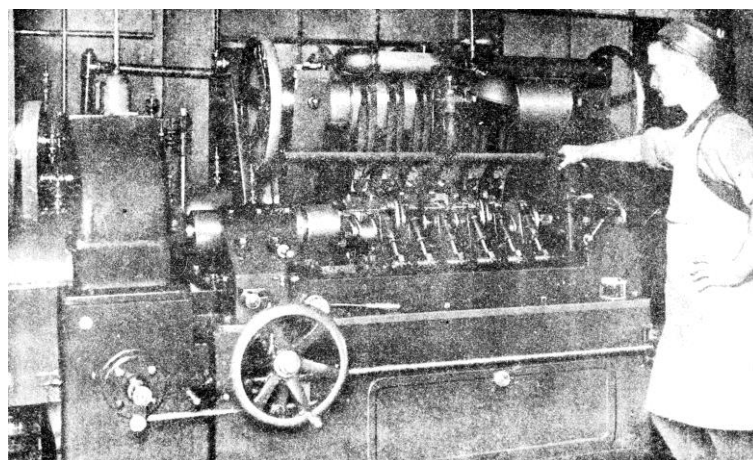
図Ⅲ-2-55 Wickes Brothers 製クランクピン旋盤



ditto., p.276 Fig.19.

クランク軸の切削部位は、上述の通り、ジャーナルとピンに限られなかった。そもそも、クランク軸の平衡と軽量化のためにはクランクアームを設計図面通りの形状に仕上げることが必須である。図Ⅲ-2-56 に示す Gordon Form Lathe Co.(米)の総形旋盤はこの工作のための専用機であった。

図Ⅲ-2-56 Gordon 総形旋盤によるクランクアームの旋削



ditto., p.277 Fig.20.

20 世紀初頭ともなればクランク軸の研削仕上げが一般化していた。しかしながら、その対象は当時から旋削済みのワークである場合と落し鍛造粗形材である場合とに分たれていた。後者については次のような辛辣な記述が残されている。

米國で見て来た人の話によるとドロツプフオージしたものから直に研ぎ出すのに一つの軸承部が 1 分間宛に出来る。時計を出して見て居るともつと一層早くやつて見せると云ふので著者も其人の言ふ通りの機械で同じ柄を研がして見たが、とてもとても問題にならない。ちよつと餘計にかければ機械は止まり、次には調帯が脱れて来る。砥石はノートン會社の指定のものであるが其通りにはゆかなかつた。もつと適當した何十層倍もよく切れる砥石が見當らなければ出来そうもない。研削仕事は砥石によることがよく判ると思ふ⁹⁵。

それでも、勇み足であったのかどうか、すでに 20 世紀初めのアメリカにおいては自動車用で特に量産規模が大であるワークの場合、鍛造粗形材を別々の専用機を用いて粗研削→仕上げ研削することが一般的となっていた。粗研削ではクランクピン径にして $\frac{1}{4}$ in.(6.35mm)を、仕上げ研削で 0.015~0.025 in.(0.381~0.635mm)を除去するといった事例が知られていた。中にはジャーナル部のみ粗旋削してから研削仕上げに回し、ピン部はいきなり粗研削→仕上げ研削に処する工場も存在した⁹⁶。

勿論、あらかじめ旋削を行う場合もあった。この際の総加工時間は専用性の高い旋盤の使用と重切削とによって大幅に削減された。当時的高级研削盤と砥石とを以てすれば粗い切削面の研削仕上げなど容易であった。表Ⅲ-2-4 は当時使用されていたクランク軸研削砥石の仕様を示す。

表Ⅲ-2-4 20 世紀初めのアメリカで使用されていたクランク軸研削砥石の仕様

⁹⁵ 永澤謙三『グラインダー』共立社 實用機械工學講座・工作編，第九卷，1935 年，97~98 頁，より。「米國で見て来た人」＝「其人」のようである。

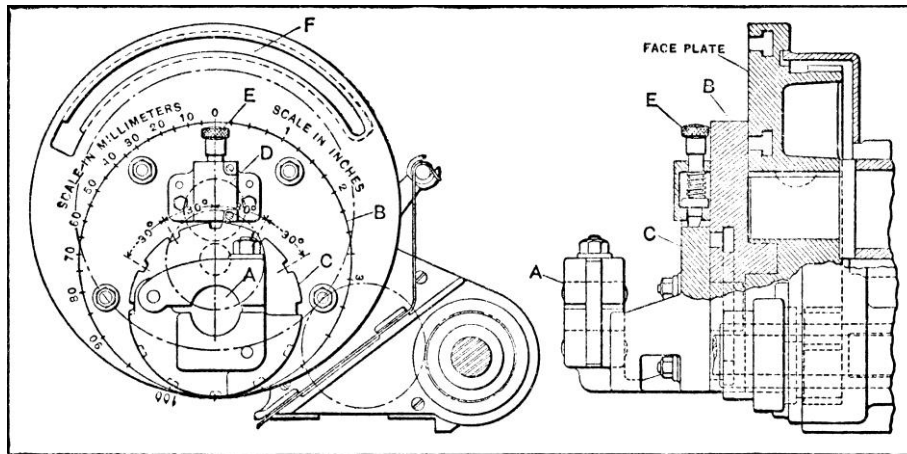
⁹⁶ ダクティル鑄鉄製粗形材に関しては、現今、いきなり研削加工という処方が一般的となっているようである。

Operation	Grain	Grade	Abrasive
0.25 to 0.50 Per Cent Carbon Steel, Heat-treated			
Roughing.	24	<i>O</i>	Boro-carbone
Finishing.	50	<i>M</i>	Boro-carbone
Roughing.	58-24 Comb.	<i>N-O</i>	Corundum
Finishing.	58-24 Comb.	<i>M-N</i>	Corundum
Roughing.	24 Comb.	<i>M</i>	Aloxite
Finishing.	24 Comb.	<i>K</i>	Aloxite
Roughing.	36	<i>O to R</i>	Alundum
Finishing.	50 or 24 Comb.	<i>L or M</i>	Alundum
Chrome-nickel or Chrome-vanadium Steel, Heat-treated			
Roughing.	30	<i>N or O</i>	Boro-carbone
Finishing.	24 Comb.	<i>M or N</i>	Boro-carbone
Roughing.	58-24 Comb.	<i>N-O</i>	Corundum
Finishing.	58-24 Comb.	<i>M-N</i>	Corundum
Roughing.	24 Comb.	<i>J</i>	Aloxite
Finishing.	36 Comb.	<i>K</i>	Aloxite
Roughing.	36	<i>O to R</i>	Alundum
Finishing.	50 or 24 Comb.	<i>L or M</i>	Alundum
NOTE. The number 58 preceding, in some cases, the grain sizes, indicates a special manufacturing process for the abrasive listed.			

from *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. II, p.267.

また、既に当時から、自動車機関用クランク軸の研削においてはジャーナルやピンの幅に等しい幅を有する砥石車を用いたプランジカットが一般的処方となっていた。図III-2-57は自動車用4および6気筒機関用クランク軸のジャーナル研削について例示するものである。この程度のクランク軸であったかと言われればその通りであるが、それでも直列6ないしV型12気筒用クランク軸は7軸受式となっている。

図III-2-57 自動車機関用クランク軸ジャーナルのプランジカット



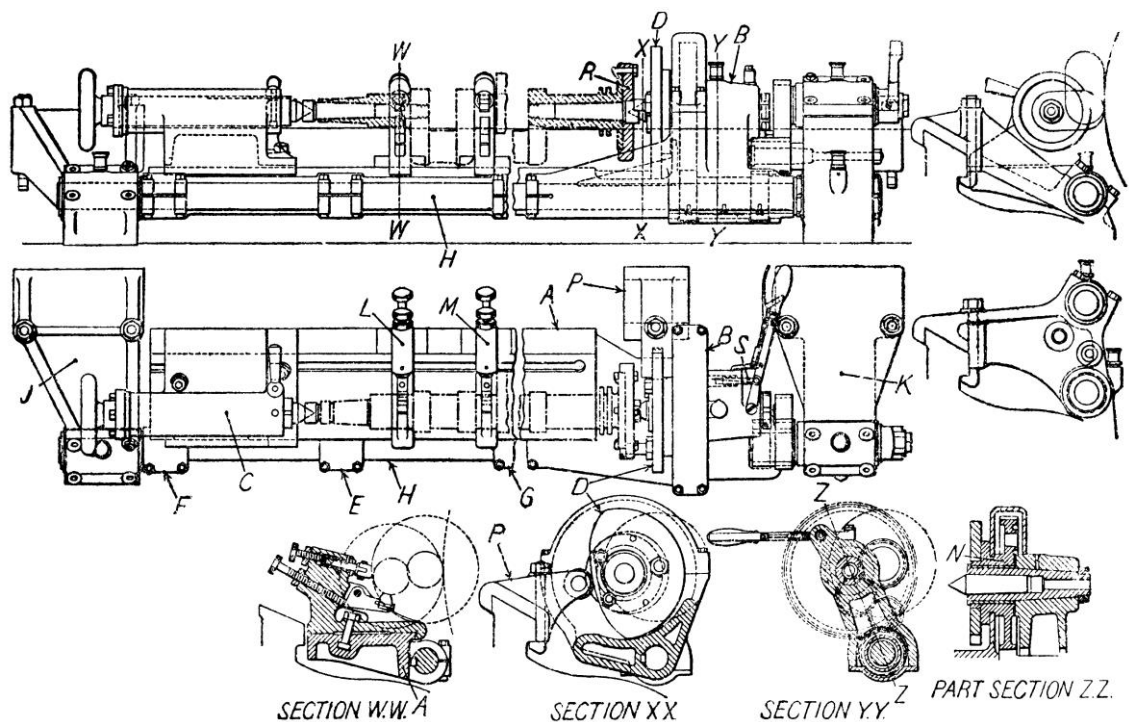
Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. II, p.266 Fig.1.

この取付具は独立した 2 つの回転式調節機構を備えていた。一方はクランクピンの偏心量を制御し、他方は異なったピンを両ストックの回転軸に対して平行に一斉旋回させる。クランク軸両端はボルト式クランプ A によって固く拘束される。プレート B を回転させることによりジャーナルの軸芯と回転軸との間隔は所定の距離、即ちエンジンの行程の $\frac{1}{2}$ に調節される。研削対象であるクランクピンの位置は破線 D によって示されている。複数のスローから成るクランク軸のピンが研削される場合、各ピンは割出し板 C を回すことによりクランク軸芯回りに旋回せしめられる。この割出し盤には 30° 間隔で 12 個のノッチが刻まれており、適正な位置でプランジャ E によって固定された。

単気筒クランクの量産専用には一定スロー型の研削盤が造られることもあれば、複数のスローを持つその量産専用には特別な取付具の類が開発される例もあった。多気筒クランク軸を扱うために、プランジカットで 1 個のクランクピンを仕上げ終れば研削ヘッドを正しいピッチで隣接するクランクピンの研削に移行させるためのアタッチメントが用意されていた。しかし、ほどなくマルチカット型の研削盤が開発される。

その一例として、砥石車 2 枚を用い、カム制御でクランクピン 2 本を同時研削する円筒研削盤用クランクピン研削アタッチメントについて紹介しておこう。砥石車を 2 枚としたのは 4 サイクル多気筒機関のクランク軸においては 2 つのクランクピンが同一位相に来る場合がほとんどとなるからである。そして、当然ながら、ここで肝心なのは円筒研削盤本体ではなく、ワークを両端(前端部と後部フライホイール取付フランジ)でセンター支持し回転させつつ、砥石車からクランクピンまでの距離を正しく連続的に変化させるようカムによって進退するアタッチメント(図 III-2-59)である。勿論、アタッチメントをベッドと一体化した専用カム軸研削盤も存在した。

図 III-2-59 クランクピン 2 本研削用アタッチメント



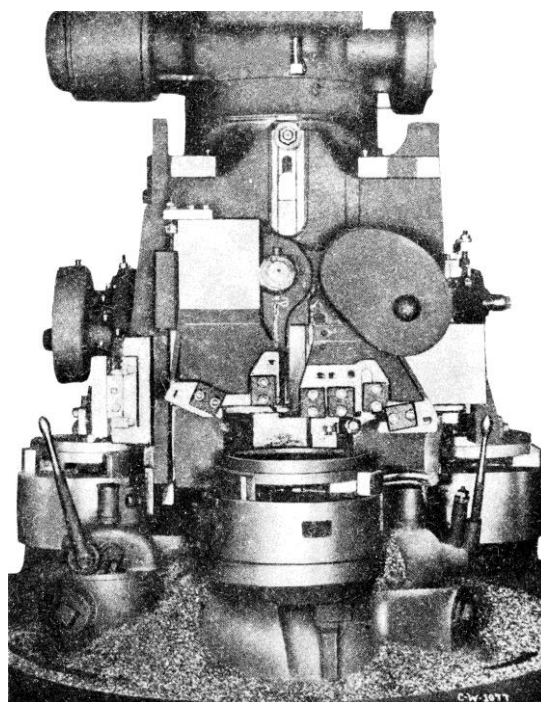
東 彌三・三枝 定「發動機工作法—航空發動機—」東・三枝・永井 博・三木吉平『發動機工作法』共立社 内
燃機關工學講座 第7卷, 1936年, 所収. 147頁, 第214圖⁹⁷.

補助テーブル *A* は円筒研削盤のベッド上に置かれ、カム *D* とブラケット *P* に設けられている 50ϕ のローラとの接触により砥石軸に対して水平を保ちつつ進退する。ワークは *A* 上の心押し台 *C*, *D* 間にセンター支持され、回し金 *R* によって *D* とともに *B* 内の歯車で駆動される。*L*, *M* は振れ止めである。本図においてクランク軸の中間部は省略されており、一例として直列6気筒機関用クランク軸の第1, 第6スローの前・後が描かれている。軸部の中空加工は航空発動機のクランク軸なるがゆえであるが、そもそも、かようなアタッチメントは生産量の大きな自動車機関の工作用に開発されていたモノと観て大過無い。

クランク軸の出力取出し端に取付けられるフライホイールのような円盤状の鑄鉄製ワークの旋削はありふれた縦旋盤か正面旋盤によるのが便利であることは自明である。'30年代のアメリカにおいてフライホイールの旋削を担った代表的な機械はこれを進化させた Bullard の *Contin-U-Matic* 縦旋盤である(図Ⅲ-2-60)。本機は独立の縦旋盤として機能する4つのステーションが併合せしめられた“ステーション型専用機”の典型であった。これをワークの逐次加工の形で用いつつ、ステーションを列型に展開し、その間のワーク搬送と位置決め、固定、工作を自動化してやれば独立型トランスファマシンとなる。“ステーション型専用機”はトランスファマシンの前駆形態をなす。

⁹⁷ 東 彌三, 三枝 定はともに東京瓦斯電気工業(→日立航空機)技師。

図Ⅲ-2-60 Bullard *Contin-U-Matic* 堅旋盤によるフライホイールの旋削(Station 2)

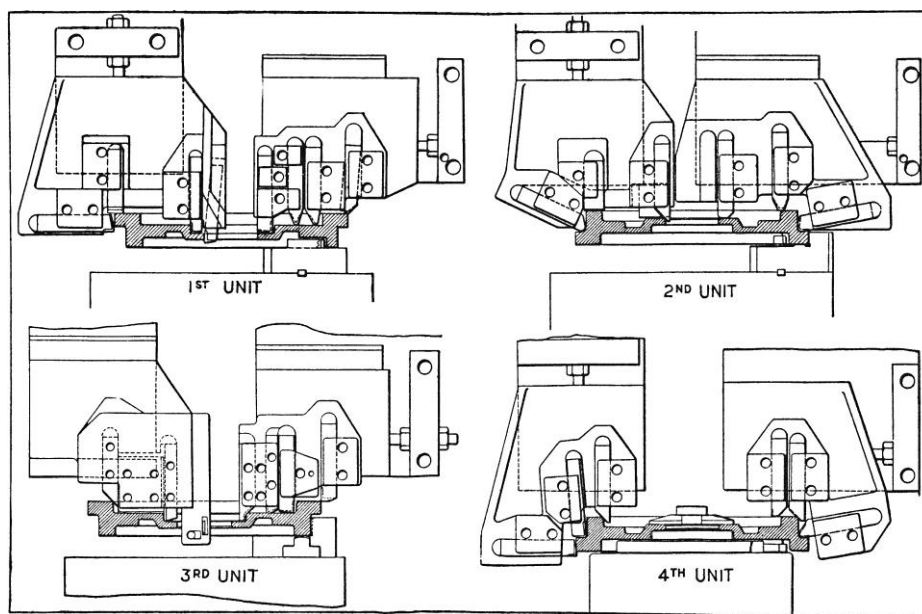


Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. p.289 Fig.26.

本機のツーリングは *single-unit*, *two-unit*, *four-unit* 型に分かれていた. *single-unit* 型では 4 つのステーションで同一加工が並行され, ワンチャッキングで 4 つのワークの表ないし裏面が粗ないし仕上げ切削された. この型はワークの両面を粗および仕上げ旋削するため, 4 台単位で据付けられた. *two-unit* 型においては例えばステーション 1, 3 で粗旋削, 2, 4 で仕上げ旋削といった使用法となり, 1 サイクルで 2 個のワークが仕上がった. このタイプは 2 台単位で据付けられ, それぞれが粗と仕上げとを分担させられることもあったが, この場合, 所要工作時間の相違から粗 3~4 台:仕上げ 1~2 台の比率となる例も多々あった.

four-unit 型においては各ステーションで逐次, 工作が進捗せしめられた. これを図Ⅲ-2-61 に示す. 1~2 で片面ずつ粗旋削, 3~4 で同じく仕上げ旋削が行われた. 本機は直径 15in.(381mm)のフライホイールを 15.5rpm で回転させたから, そのリムにおける切削速度約は 60ft/min.(18.3m/min.)と遅かった. 本機は操業度 85%にて 8 時間当り 139 個のフライホイールを旋削仕上げできた. *four-unit* 型の工作能率は高いとは言えなかったが, 運転台数の増減による操業度の調節は最も容易であった.

図Ⅲ-2-61 4-Unit 型 Bullard *Contin-U-Matic* 堅旋盤によるフライホイールの旋削工程

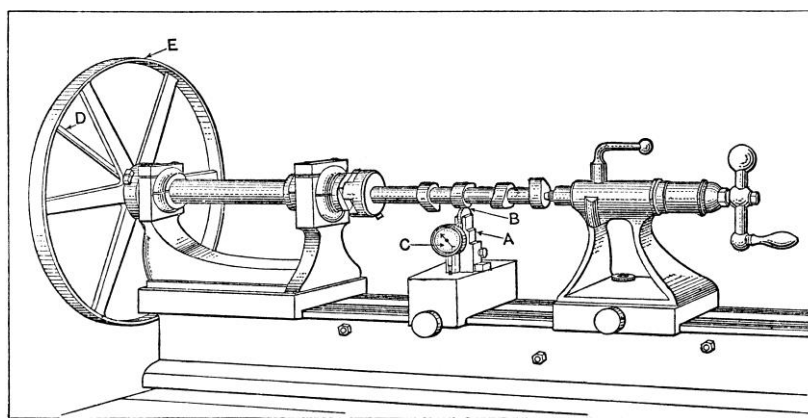


ditto., p.286 Fig.25.

6) カム軸の旋削および研削

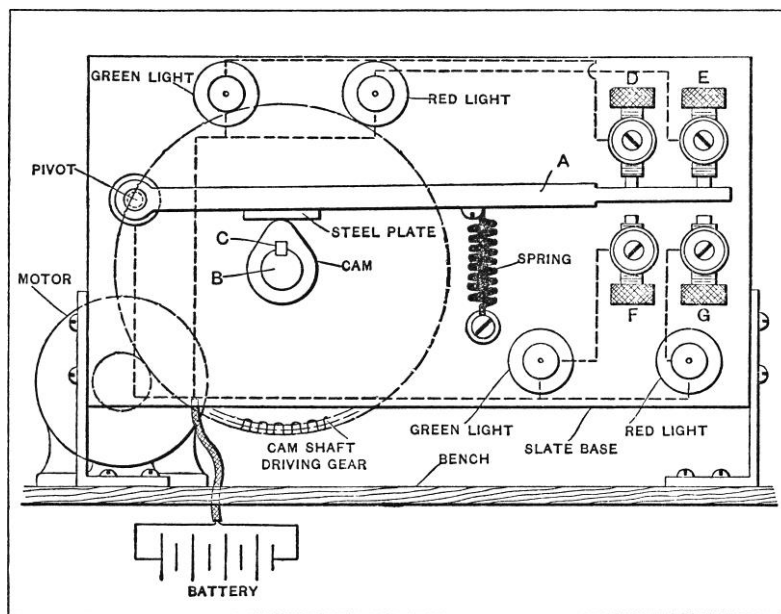
小形内 4 サイクル燃機関のカム軸(カムと軸とが一体のもの)はおおむね炭素鋼鍛造粗形材を旋削, 粗研削した後, 銅メッキし, カム表面のみこれを剥がした状態で浸炭約入れし, 最後に研削することによって仕上げられた. アメリカでは'32年に鑄鉄製カム軸が導入されているが, 機械加工の段取りは同じであった. カム軸もクランク軸ほどではないが回転軸としては妙な格好をした存在であるため, 真直度やカムプロフィールの計測は図III-2-62に示されるような測定装置を必要とする面倒な仕事となった. この図のカム軸は直列 2 気筒機関のそれ, 時期は 20 世紀初めである.

図III-2-62 直列 2 気筒機関用カム軸の検査



なお、自動車メーカーのそれをはじめ、量産エンジン工場においては図Ⅲ-2-63 に示されるような電気式カムテストが導入されていた。カムのリフトが正しければ上方の緑ランプが、過大であれば緑と赤のランプが光る。カムのベースサークルが過大であれば下方のランプは両方とも点かず、正規の値であれば緑ランプが、過小であれば緑と赤のランプが同時に点灯する。オペレータはずっとこれを注視していなければならぬが、ダイヤルゲージを読み取るよりは迅速かつ容易であった。

図Ⅲ-2-63 電気式カムテスト



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I , p.550 Fig.4.

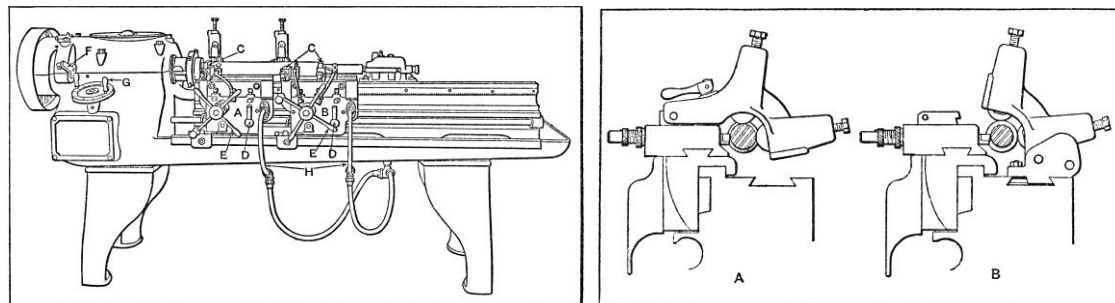
20 世紀の初めのカム軸切削工程については十分な記述を見出し得なかったが、恐らく、'30 年代前半と同様、旋削の対象は寸詰まりの太い円筒と細い円筒とを繋ぎ足した、あたかも RR 鍛造前の節付け荒地のごとき恰好をした鍛造粗形材の細い円筒部、それも時代を遡るほど精度を要する最小限の部位、即ちジャーナル部やタイミングギヤ取付部に限られていたことと想われる。それらの研削はごく普通の円筒研削盤によって行われていたはずである。

図Ⅲ-2-64 はカム軸旋削に常用された Lo-Swing 旋盤と 2 種類のローラ付き振れ止め(A : Follower-rest[往復台上に位置する移動振れ止め], B : Back-rest[ベッド上に位置する固定振れ止め])を示す。

⁹⁸ これとほとんど変わらぬ装置が永澤『グラインダー』96 頁に、第 116 圖として掲げられている。

Lo-Swing 旋盤は Fitchburg Machine Works(米)によって永らく製造されていたバー材の両センタ旋削に特化した振りの極めて小さな専用旋盤である。

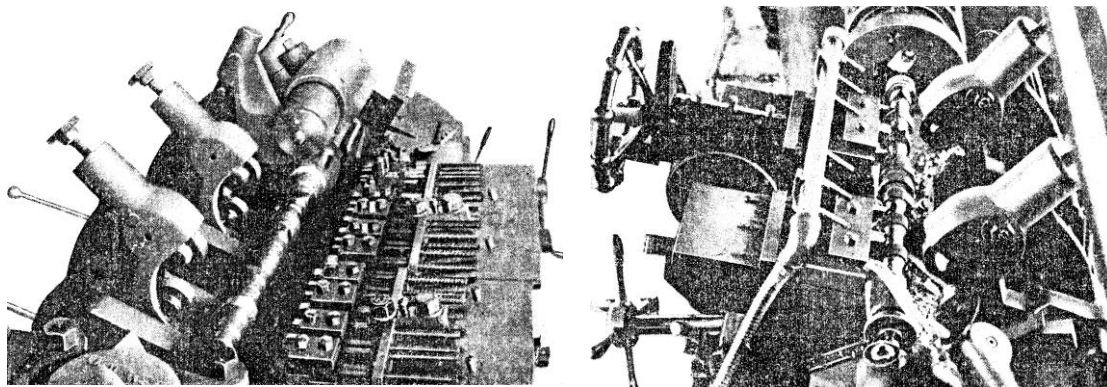
図Ⅲ-2-64 往復台を 2 つ持つ Lo-Swing 旋盤と 2 種類の振れ止め



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.IV, p.176 Fig.11, p.178 Fig.13.

図Ⅲ-2-65 は'30 年代におけるカム軸ジャーナル部の同じく Lo-Swing Lathe による多刃旋削状況で、左右は長手方向逆サイドから眺めた画像となっている。旋削がローラ付きバックレストを閉じてから行われたことは言うまでもない。

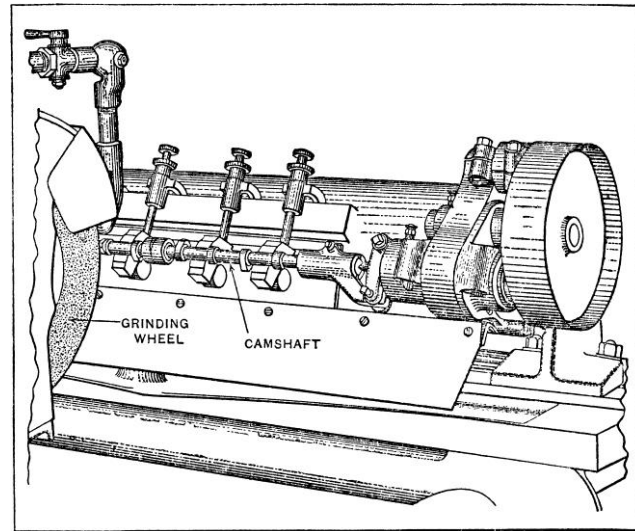
図Ⅲ-2-65 カム軸円筒部の Lo-Swing Lathe 用アタッチメントによる旋削状況



Heldt, High-Speed Combustion Engines. p.416 Fig.31, p.417 Fig.32.

カム軸の工作において厄介なのはカムプロフィールの仕上げであり、これは永らく切削によることなく、鍛造粗形材の太い円筒部からの粗研削と仕上げ研削とによって具体化されていた。図Ⅲ-2-66 は 20 世紀の初め、カム軸の倣い研削に使われていた円筒研削盤用アタッチメントを示す。カム軸はその両端をセンター支持されると同時にカムの数だけ揃えられたマスターカムとともに右端に観えるプーリからの動力によって回転せしめられた。各マスターカムのプロフィールに従ってアタッチメント全体はスイングし、砥石車との距離が制御された。一つのプロフィールの研削が終ればマスターカムを隣のものに代え、隣のカムの研削へと移った。固定振れ止めはクサビ式の高さ調節機構を備えていたと観える。

図Ⅲ-2-66 カム軸倣い研削用アタッチメントの使用状況



Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I , p.549 Fig.2.

なお、20世紀初頭のアメリカにおいてはカム各研削用として表Ⅲ-2-5のような製品が提供されていた。

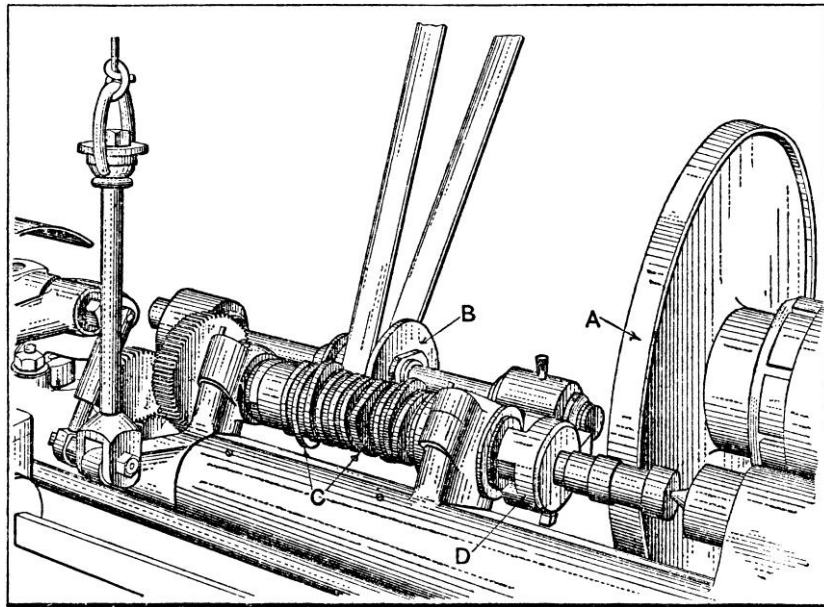
表Ⅲ-2-5 20世紀初頭のアメリカにおいてカム各研削用に提供されていた砥石車

Operation	Grain	Grade	Abrasive	Grading System*
0.25 to 0.50 Per Cent Carbon Steel, Heat-treated				
Roughing . . .	24	<i>P</i>	Boro-carbone }	<i>A</i>
Finishing	46	<i>J</i>	Boro-carbone }	
Roughing . . .	58-16	<i>O to Q</i>	Corundum }	<i>B</i>
Finishing	58-46	<i>J or K</i>	Corundum }	
Roughing . . .	24	<i>I</i>	Aloxite }	<i>C</i>
Finishing	40	<i>N</i>	Aloxite }	
Roughing . . .	24 Comb.	<i>N or O</i>	Alundum }	<i>D</i>
Finishing	38-24 to 46	<i>I, J, K</i>	Alundum }	
Chrome-nickel or Chrome-vanadium Steel, Heat-treated				
Roughing . . .	24	<i>P</i>	Boro-carbone }	<i>A</i>
Finishing	46	<i>J or K</i>	Boro-carbone }	
Roughing . . .	58-16	<i>O or P</i>	Corundum }	<i>B</i>
Finishing	58-46	<i>J</i>	Corundum }	
Roughing . . .	16 Comb.	<i>I</i>	Aloxite }	<i>C</i>
Finishing	36 Comb.	<i>K</i>	Aloxite }	
Roughing . . .	24 Comb.	<i>N or O</i>	Alundum }	<i>D</i>
Finishing	38-24 to 46	<i>I, J, K</i>	Alundum }	
* (A) Abrasive Material Co.; (B) American Emery Wheel Works; (C) Carborundum Co.; (D) Norton Co.				
NOTE. The numbers 38 and 58 preceding, in some cases, the grain sizes, indicate a special manufacturing process for the abrasive listed.				

from *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. I, p.549.

図III-2-67はそのマスターカムを倣い研削するためのアタッチメントが使用されている状況を示す。Cがワークであるマスターカムのブランクで、その回転軸はアタッチメントと一体にスウィングし砥石車Bとの距離は砥石車に代って研削盤砥石軸に取付けられた円盤Aと接するモデルカムによって増減せしめられた。マスターカムの位相はモデルカムをつかむ回し金Dに刻まれている気筒数に応じた(4気筒なら4本の)スロットの切替えによって精確に行われた。

図III-2-67 マスターカム倣い研削用アタッチメントの使用状況

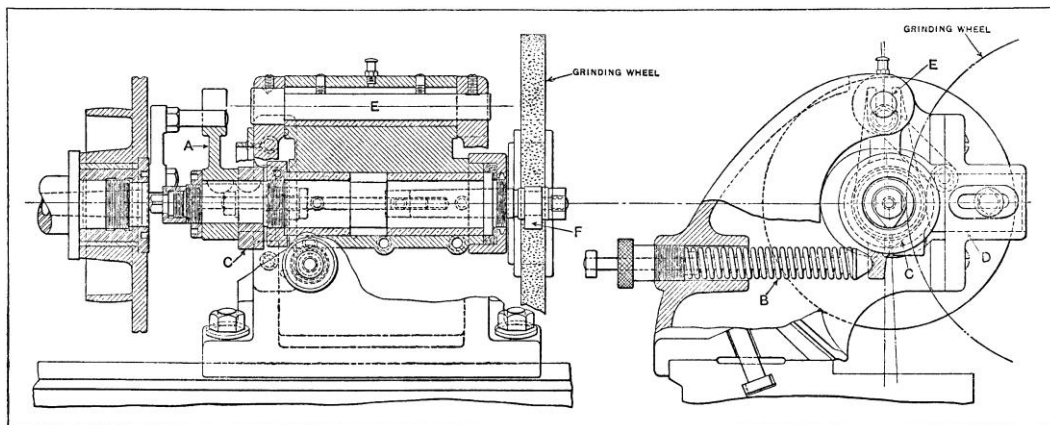


Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol. I, p.551 Fig.5.

マスターカム研削に好適とされた砥石車は Norton のアランダム砥石で粒度 46, 等級 3 で弾性に富み, 砥石幅 3/8 in.(mm), 粗研削では直径 3 1/2 in.~4 1/32 in.(88.9~102.4mm), 仕上げ研削においては同 3.998~4.002in.(101.6~101.7mm)の砥石車を約 3800rpm で回すのが好しとされていた。

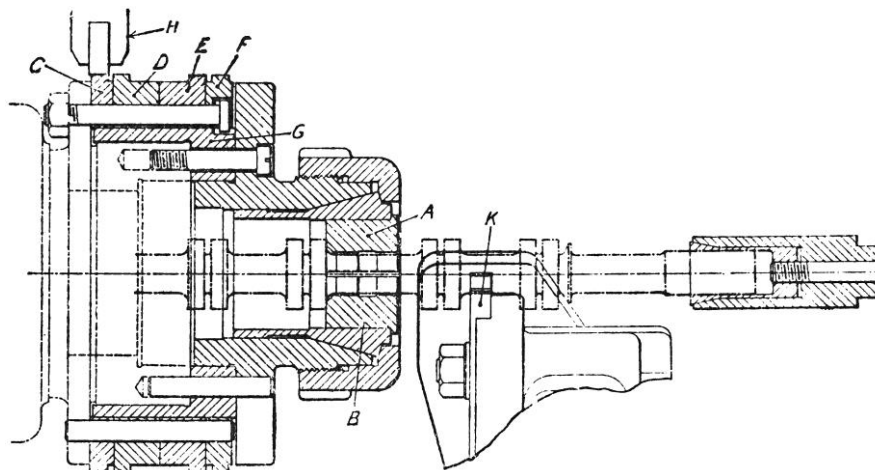
図Ⅲ-2-68 は前掲図Ⅲ-2-63 のそれのようにキーによって軸に固定されるタイプのカムを 倣い研削するアタッチメントで, 大き目のエンジンには一般にこの種の取外し型カムが用いられた。アタッチメント全体はバネ B によりガイドプレート D に押し付けられており, マスターカム C が D を押すことによりアタッチメントは E を支点として前後に揺動し, 砥石車とプランクとの距離を変えた。

図Ⅲ-2-68 分離型カムの倣い研削用アタッチメント(Landis)



なお、カムプロファイルの工作が先ず粗切削してから研削へ、という工法に転換されたのは'30年代からであったかと想われる。図Ⅲ-2-69は Webster & Bennett Ltd.(英)のカム軸倣いフライス盤の要部を示す。本機は旋盤とフライス盤とを折衷したような専用機で、プランクはブシ *A, B* を介してコレット・チャックにくわえられた。チャックはスリーブ *G* を介して面板に取り付けられていたが、両者の間にはカム *C, D, E, F* が挟まれていた。機械後部のローラ *H* に順次 *C, D, E, F* をなぞらせれば、その動きに連動してフライスカッタ(V型支持ブロック *K* の右隣りに隠れている)が各カム山を粗切削して行った。

図Ⅲ-2-69 Webster & Bennett Ltd.製カム軸倣いフライス盤要部



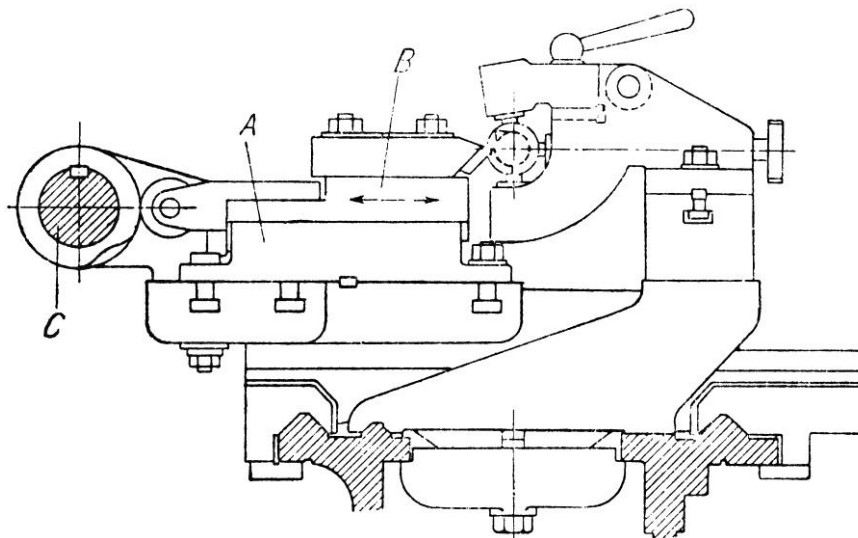
東 彌三・三枝 定「發動機工作法」115頁, 第144圖.

また、倣い旋盤の一種であるカム倣い旋盤も実用されていた図Ⅲ-2-70は Lowe Cam Lathe と解説されているが、正しくは通称 Loewe-Fabriken の製品であろう¹⁰⁰。

図Ⅲ-2-70 Loewe-Fabriken のカム倣い旋盤要部

⁹⁹ 同じ図は Heldt, *High-Speed Combustion Engines*. p.418 に Fig.33 として吹き出し説明付きの恰好で再掲されている。カムの倣い研削の原理はどれも同じ、とも述べられているが、これを Landis の製品と明記してくれた点は重要な指摘である。

¹⁰⁰ 旧商号 Ludwig Loewe & Co. A.G., 合併後は Gesellschaft für elektrische Unternehmungen — Ludwig Loewe & Co.



同上, 115pr-時, 第 145 圖.

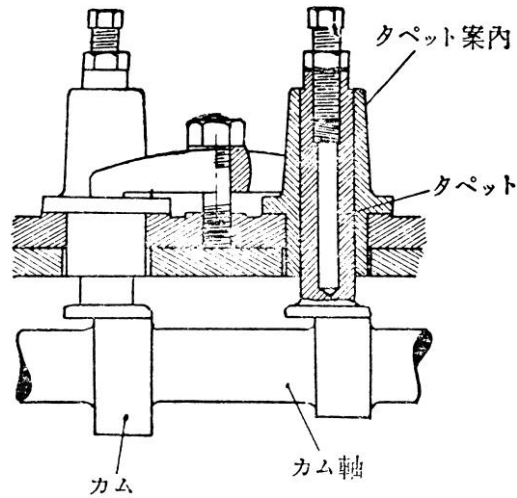
工具台 A はマスターカム C によって切り込み方向にスライドし, B に保持されたバイトがブランクを切削した. もっとも, ワークがアイスクリームであったワケではないから, カムフォロワと B との間には定数の大きな圧縮コイルバネでも入れられていたのであろう. 繰返すが, これによって行われるのは粗切削であって, 仕上げは研削盤に委ねられたワケである.

7) タペットの研削仕上げ

カムと接し, これによって衝き動かされる部品がタペットである. ごく古い訳語ではカムは如意輪, タペットは如意などと表記された. 勿論, それ自体が伸び縮みするワケではないが, 如意棒からの連想であろう.

Woodbury はタペットの研削仕上げが 1920 年代を通じていかに能率化されて行ったかについて 1930 年の論文からデータを引用している. 大方, 自動車工場における事例であろうが, 彼はデータソースまでは明示していない. センタレス研削についてはすべて “in-feed” つまり接線方向の「送り込み研削」と表記されているから, ワークであるタペットは段があるため軸方向の “through-feed” (通し送り) にはかけられず, 砥石車の接線方向に送ることしかできない段付き円筒状のモノ(図Ⅲ-2-71)であったと考えるしかなかろう.

図Ⅲ-2-71 自動車用エンジン用タペットの例



菊地五郎『自動車工学』岩波書店，1938年，153頁，第194圖（ロ）。

Woodbury が掲げたのは表Ⅲ-2-6 のようなデータである。公差は 1920 年時点で 0.0005in.(0.013mm)，爾後は 0.00025in.(0.006mm)とあるが，無論，これは±の値である。

表Ⅲ-2-6 タペットの研削様式と能率

年	業 態	様 式	1 時間当り加工個数
1920	センタ付き研削盤		90
1923	センタレス研削盤	手作業による挿入，取出し	150
1924	”	” レバー取出し	240
1925	”	” 自動取出し	300
1927	”	自動挿入，取出し	450
1929	”	自動ホップ挿入，自動取出し，3 台持ち	1350

from R.,S., Woodbury, *Studies in the History of Machine Tools*. History of the Grinding Machine. p.184.

これほどに効率化が果され，コストが抑えられたのは有難いことではあるが，「そんなに造ってどうするの？」という原初的な疑問が湧かぬワケでもない。

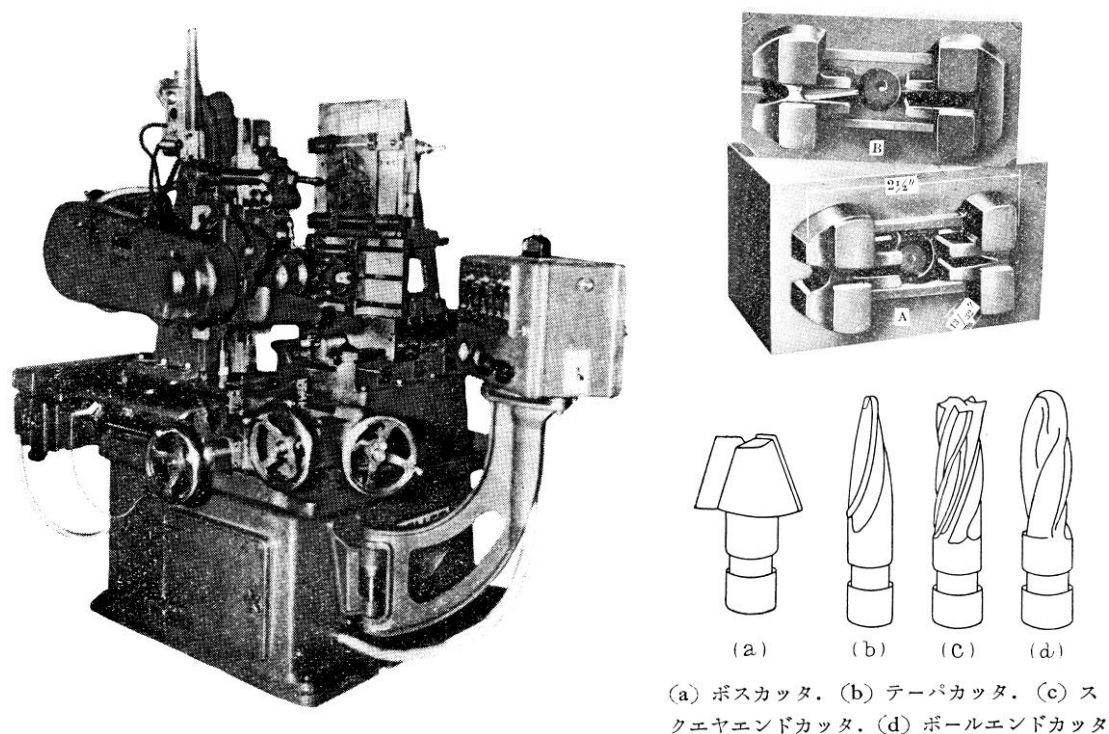
8) 型彫り盤

機械加工を専用機の体系によって実施していたことはアメリカ自動車工業の先進的特徴であったが，部品点数そのものの削減は自動車工業において時代を問わず象徴的なキーワードをなしている。'30年代のアメリカを代表した高級車，*Cadillac 90*系エンジンがコストダウンを狙ってSV化された例に窺えるごとく，クランク軸やコネクティングロッドとは対照的に，しばしばリストラの対象となるエンジン小物部品ではあったが，他方においてはそれ

らの生産性自体を飛躍的に高める積極的な技術も駆使されるようになっていた。その一つが精密金型を用いる精密鍛造であった。

エンジンを構成する機構部品の多くは鋼材からの全面機械加工による削り出しや芋鍛造(自由鍛造)粗形材からの削り出しなどではなく、型鍛造によって得られた精密な粗形材を機械仕上げする格好で調達されるようになっていた。型鍛造に不可欠な固有の工作機械が型彫り盤である。図Ⅲ-2-72 にその代表的存在であった電氣的倣い機構を特徴とする Keller Engineering Company(米)の Keller Machine の内、比較的小形の鍛造型用機種および同機によって倣い切削された鍛造型金型、型彫り工具の例を示す¹⁰¹。

図Ⅲ-2-72 鍛造型切削用 Keller Machine と彫られた鍛造型金型，工具の例



左，右上：雲野陶藏『型鍛造(ドロップフォージグ)』工業圖書，1937年，157頁，第114圖，第115圖。

右下：日本機械学会 内燃機関部門委員会『内燃機関』下巻，日本機械学会，1957年，584頁，第15・53図。

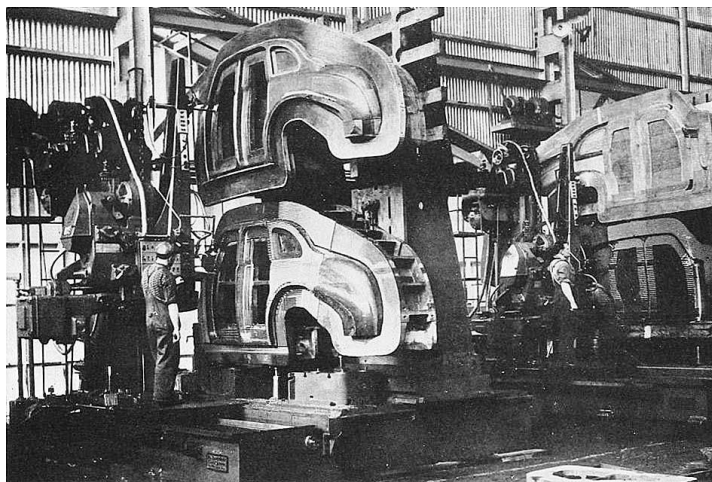
¹⁰¹ ケラーマシンの本邦初輸入初号機は大阪の大日本セルロイド(株)(→ダイセル化学工業(株))がキューピー人形の型彫り用に導入した小形機であった。第2号機は1m□程度の型を彫れるモノで，中古機として日産自動車横浜工場に導入された。畠村 易・保坂 透「日産自動車創業時の機械設備と製造技術」(社)自動車工業振興会『日本自動車工業史口述記録集』1975年，125~139頁，参照。畠村による当該の発言は133頁。

図Ⅲ-2-72左, 機械の上部には電氣的倣い機構がトレーサを水平に突出しつつ構えており, その下に横型の主軸が控えている. 同右においては B がマスター, A が成品である. この分野においては Keller の他にも *Hydro-Tel* 油圧倣い機構を装備可能な Cincinnati の堅フライス盤などが名を成していたが, こちらは 2 次元輪郭削り用であった¹⁰².

なお, エンジン部品の機械加工からは離れるが, 自動車と Keller マシンとの係わりにおいて看過し得ぬのはプレス加工用金型の型彫り盤である. Keller Machine はこの方面においても定番技術であった. *Cadillac 90* 系のフロントフェンダーも往時の工芸品のような叩き出しによる作品とは似て非なるプレス成形品となっていた.

図Ⅲ-2-73 は 1930 年代末期以降, 戦時下のブランクを挟んで'50 年代前半までの画像のようであるが, Keller マシンによる乗用車車体のサイドメンバ(ボディーサイド)金型の工作状況を示す. 鍛造用型彫り盤におけると同様, 上はマスターと倣い機構, 下に主軸とワークが観える. Keller マシンを何基林立させているかによって乗用車工場の規模は即座に判定されたものである¹⁰³.

図Ⅲ-2-73 Keller Machine によるボディーサイド金型彫り



<https://www.dan-keller.com/kellermachine/pic5.html>

¹⁰² Keller Machine の電氣的倣い機構と *Hydro-Tel* の油圧倣い機構についてはIVにて後述.

¹⁰³ Keller マシンと同工のレイアウトと電氣的倣い機構を有する, 勿論より頑丈な躯体の横中ぐり盤がアメリカの有力工作機械メーカー, Giddings & Lewis によって製造されていたが, 両社間における技術的關係の有無については管見の及ぶところとはなっていない. Giddings & Lewis の製品については Koenigsberger・塩崎訳『工作機械の設計原理』200 頁, 図 275, 参照.

1896年に淵源を發する Keller Engineering Company は 1930 年, Pratt & Whitney, Inc. に買収され, その Keller 事業部となった. しかし, 戦後, P&W が Colt Industries に買収されたことにより, 伝統を誇る 2 つのブランドは消滅してしまった.

3. 航空発動機部品の工作

航空発動機部品の工作については同時代にも幾つかの書籍やレポートの形で体系的記述がなされている. しかしながら, 時代を相前後してもその生産点において不可欠の要素として十全に機能を果していた工作機械や治具の具体的使用法にまで深く踏み込んだ労作がまとめられた形跡は無い. これは何よりも大馬力ピストン航空発動機が先の大戦終結以来十年を経ずして軍用動力技術の花形から無用の長物に……最高機密事項から工学的関心の対象外へと一気に零落したためであり, 副次的にはこの方面における治具の使用形態がメーカーの固有性を色濃く投影するものであって, 航空発動機, とりわけこの国が傾倒した空冷星型のそれについて一般解に相当するような事例を見出し難かった事情にもよると考えられる¹⁰⁴.

1) 水冷(液冷)航空発動機シリンダブロックのフライス加工

水冷(液冷)航空発動機のシリンダブロックやクランク軸, コネクティングロッド, カム軸などは自動車機関のそれと似たようなモノとなるが, シリンダブロックの材料には Al 合金やエレクトロン(Mg 合金)が奢られた. 表Ⅲ-3-1 は Reinecker, J.E., A.-G.(ドイツ)が'30 年代前半に得ていた各種非鉄金属材料に対するフライス加工の条件を示す¹⁰⁵.

表Ⅲ-3-1 Reinecker による各種非鉄金属材料に対するフライス加工の条件

¹⁰⁴ 航空発動機の生産技術全般についての体系的解説書として東・三枝「発動機工作法」, 關 義茂『航空発動機入門』開隆堂 1943 年, が挙げられる. 雑誌論文としては海外工場に係わる紹介レポート類が翻訳を含め, あまたある. 異色の史書として檀 正二編集発行『第十一海軍航空廠発動機部(広海軍工廠航空機部発動機課)の記録』1983 年を見逃す手抜かりは到底, 赦されぬであろう.

¹⁰⁵ 早坂は軽合金のミリングにおける切削速度について高速度鋼工具で粗 200, 仕上げ 700, タングステンカーバイド工具で粗 450, 仕上げ 700m/min., 切込は最大 10mm 程度との数値を掲げているが, 附表 1 の切削速度値は軽切削のためか, これより格段に大きい.

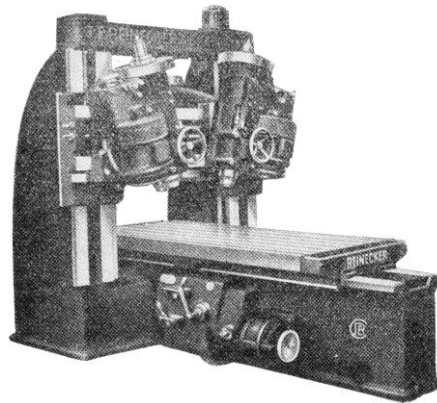
材 料	切削速度 米/分	送 り 米/分	切屑量 ㎥ ³ /馬力
アルミニウム 鋳物	1150	1.7	80 まで
エレクトロン "	1400	2.2	160 "
ホワイトメタル	1600	1.1	225 "
銅 (電 解)	1000	0.75	50 "

工具はタングステン 23%の高速鋼。切削はドライ。

早坂前掲『ミリング仕事』220 頁，附表 1.

図Ⅲ-3-1 は同社製の主軸傾斜可能な 2 頭型プラノミラを，図Ⅲ-3-2 はこれを用いてフライス加工された各種箱物部品を，表Ⅲ-3-2 はそれぞれのワークに係わる工作の詳細を示す。

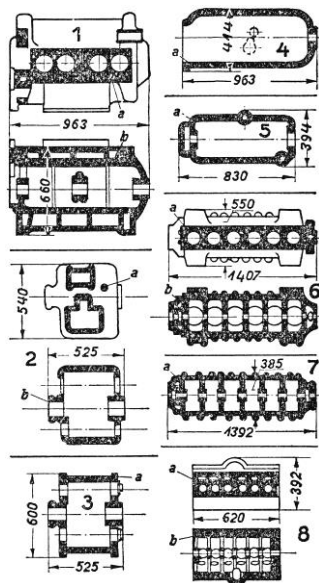
図Ⅲ-3-1 Reinecker 製の主軸傾斜可能な 2 頭型プラノミラ



早坂『ミリング仕事』219 頁，第 286 圖。

図Ⅲ-3-2 Reinecker 製プラノミラを用いて加工された各種箱物部品

表Ⅲ-3-2 左図各ワークの工作例詳細



圖號 ⁽¹⁾	部品名	材 質	面	(2)最大切削面積 mm ²	所要時間 秒		精度 μm	カッタ 径 mm
					荒削り	仕上削り		
1	クランク室	エレクトロン 17—20 kg/mm ²	a b	250×5 250×5	2×30 2×30	2×60 2×60	0.02	350
2	ギヤボックス上部	エレクトロン 17—20 kg/mm ²	a b	100×5 140×5	10 2×15	25 2×30	0.02	300
3	同上下部	エレクトロン 17—20 kg/mm ²	a	200×5	2×15	2×35	0.02	300
4	溝 槽	アルミニウム	a b	80×4	2×60	2×120	0.02	300
5	〃	アルミニウム	a	70×140 3	55	65	0.02	300
6	クランク室上部	アルミニウム	a b	—	45 2×45	90 2×90	0.02	300
7	同上下部	アルミニウム	a	—	2×45	2×90	0.02	300
8	クランク室	エレクトロン	a b	250×35	12 2×26	36 2×36	0.015	300

(1)左図の番号.

(2)荒削りの場合の幅×深さ(耗).

早坂『ミリング仕事』220頁, 同左, 221頁, 附表2.
第287圖.

2) 空冷星型航空発動機部品の機械加工

自動車用エンジンとは大いに趣を異にする空冷星型航空発動機部品, 少なくともその気筒構造, クランク室やクランク軸, 連桿類の構造様式や工作法の一端についてはすでに拙稿にて紹介しておいたので, 全く同じ内容をここで繰り返すことは控え, 往時, 実施されていた空冷星型航空発動機部品の機械加工の一端について補足的に紹介することにとどめたい¹⁰⁶.

主たる資料は敗戦の直前, 末期的症状を呈していた本邦機械生産技術体系の立て直しを狙って日本能率協会が各製造業界の有能な生産技術者たちを糾合の上, 編纂せしめた治具に係わる本文 960 頁の労作であり, そこから航空発動機部品の機械加工における治具の実用形態に関する部分を紹介して行く.

航空発動機部品加工用治具に関する具体的な技術情報は中島飛行機武蔵野製作所の荒川信生 技師に託された實例編 第3章 フライス治具, 同 第4章 研磨治具に収録されている. この「研磨」は研削の謂いである. 収録事例は内外マチマチで, 出所, 由来の特定に若干の困難を伴う記述もある¹⁰⁷.

¹⁰⁶ 空冷星型航空発動機のクランク軸については拙稿「三菱航空発動機技術史 第三部」, 「クランク軸の技術史(下): 航空機用空冷星型 発動機のクランクシャフト」『ツールエンジニア』 Vol.59, No.5, 2018年4月(→IRDB), 参照.

¹⁰⁷ 治具編纂委員会『治具』(日本能率協会, 1945年5月), 参照.

以下においては、荒川の加工類型による区分を離れ、部品ごとの工作事例として彼が掲げてくれた画像と記述を再掲するとともに、発動機工学や発動機技術史に係わる多少の補足を加え、併せて、アメリカにおける工作事例についても若干、取上げることにはしたい。それは、今後、空冷星型航空発動機などという原動機に一向、馴染みのない読者が益々、多数を占める趨勢となるように想われ、かつ、彼我の懸隔を客観視したいからである¹⁰⁸。

当然ながら、工作事例はトランスファ・マシンなどカケラもなく、NC 工作機械やマシニングセルなど夢でさえなかった国の、そのような時代ならではの不自由きわまる、それだけに創意と工夫に満ち溢れた実地機械工作法のあくまでも点描に過ぎぬ。しかし、航空発動機が当時、どれほどの手間暇をかけて製造されていたのかについては大凡の了解を頂けるであろう。

i) シリンダ関係

標準的な空冷星型航空発動機のシリンダは Cr 鋼, NiCr 鋼, Mo 鋼, 窒化鋼などの鍛鋼製削り出し品である^{シリンダ・バレル}気筒胴と Y 合金(含銅耐熱 Al 合金)などの軽合金鋳物ないしジュラルミン鍛造粗形材からの削り出し品である^{シリンダ・ヘッド}気筒頭との永久結合物をなしていた。イギリス発祥のかかる結合法は“ねじ込み・焼嵌め”と称された。ヘッドには雌ネジが、バレル上端部外周には雄ネジが切られており、ネジのプロフィールには各社各様の工夫が凝らされていた。ヘッドは 300°C 程度の油中にて徐々に芯まで加熱膨張せしめられ、シール剤を塗布したバレルの雄ネジに人力でねじ込まれた。バレル先端の突当り部にテーパを付与しておく場合もあれば銅製ガスケットリングを入れておく所作もなされていた。

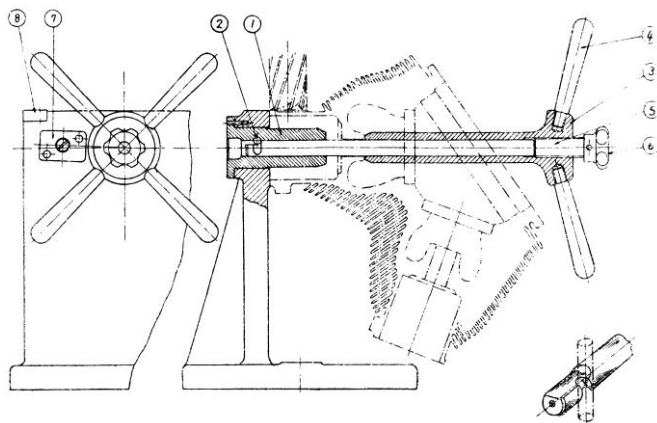
常温に復帰すれば両者は固着する。これで“ねじ込み・焼嵌め”は完了である。バレル下部フランジへのクランク室取付ボルト孔穿孔は結合されたヘッドを基準として実施された。結合の逆手順での分解自体は不可能ではなかったが、一旦、分離して再結合すればネジの停止位置(角度)の正確な再現は望み難い。よって、以後、頭部と胴部とが分離されることはなく、オーバーホール時に気筒胴内面へのボーリング、ホーニングが施される場合にも作業は頭部一体の恰好で実施された。そして、最終廃棄に至るまで両者は一体のままであった。

シリンダ当り排気量に対する冷却フィン、特にヘッドのその表面積増大は発動機の高出力化・高負荷化にとって必須であった。フィンの密植と丈の増大は世界的には鍛造品からの削り出しによって推進されるに至った。しかし、わが国ではヘッド冷却フィンを削り出す工法が常道となることは遂になく、ひたすら鋳造法の工夫などの手ぬるい方途が追求された。バレルのフィン成形法も十年一日のごとき削り出しに終始した。このため、この国における空冷気筒関係の機械加工には今一つ精彩を欠く状況が通底していた。

¹⁰⁸ 空冷星型航空発動機部品の生産技術全般についても拙稿「三菱航空発動機技術史 第Ⅲ部」(→IRDB)にて一通り解説されており、参考文献の類も掲げられてはいるが、治具の具体的用例については手薄であった。

それかあらぬか、図Ⅲ-3-3 は荒川が掲げてくれた唯一の気筒工作——シリンダヘッドへのミリング加工の事例である。この加工は吸排気弁のバルブガイド挿入孔と吸・排気ロッカー室とによってワークを支持し、ロッカー・シャフトの入るべき孔の穿孔に備えるべく両ロッカー室の外側面をフライス削りするものであったが、工作としては明らかに極度の軽切削に属する。

図Ⅲ-3-3 シリンダヘッド・ロッカー室フライス加工用治具の例



『治具』643頁，第3121圖。

したがって、その治具も誠にチャチを極めていた。ピン②を挿入・固定するためにわざわざ雌ネジ付き座板⑦が取付けられているところからして L 型の躯体は軽合金鋳物であったと観える。ピン孔があえて傾斜せしめられているのは時々、ネジを緩めては低粘度で凝固しにくい油を先端部へと補給するためであろう。⑧はフライスの切れ刃高さを指定するためのゲージのようである。

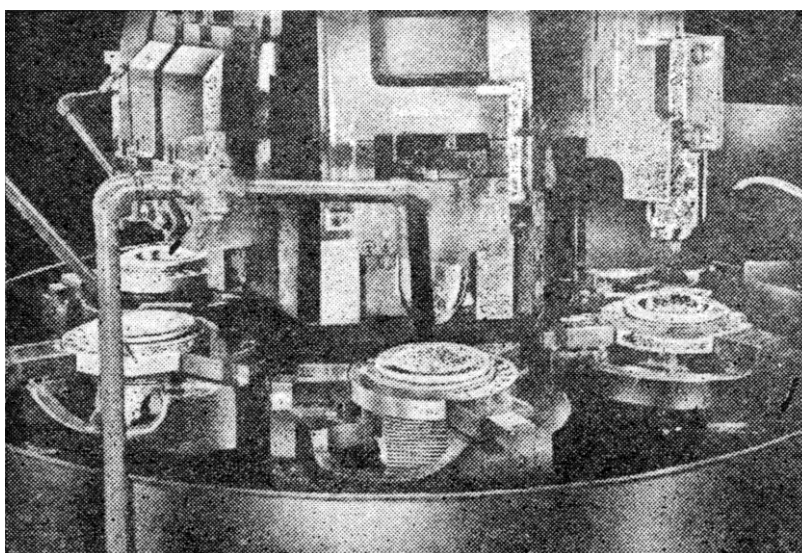
件のピン②は吸排気側の入替を迅速化するためのケレンであった。固定ネジ⑤の先端には添図にあるような切欠きが設けられており、①への挿入後、ハンドル④ないしノブ⑥を締めれば切欠きはピン②と噛合って③と⑤との間のネジが効くように、逆に、ハンドルを半回転ほど緩めれば噛合いが外れて⑤が一気に抜き出せる仕組みとなっていた¹⁰⁹。

109 この機構は新谷の「所謂差込ねぢ」に該当するように想われるが、確証はない。新谷武男『治具』岩波講座機械工学〔Ⅳ 機械工作〕，1943年，15頁，参照。新谷は同一箇所「ハンド・ナット」なるものについても言及している。これは“ジグ用 T 形ナット”に類するアイテムかと勘繰られるが、委細は不詳である。後者については H,E, Scheibe und A., Waschinger/粕谷一雄・石橋幹史・水上 徹訳『ジグ設計製作便覧』増補版，共立出版，1976年，276頁，参照。

治具の開閉やワーク脱着の迅速性は能率向上の要点の一つで、バネやカム、トグル機構、早締めナット、ピッチの異なる同一方向ネジの併用(粗ピッチ・ネジで位置決め、精ピッチ・ネジで締付け)、ターンバックルなどの手練手管が援用された¹¹⁰。

かようなモノと比べられれば異次元技術に観えようが、ヘッド加工がらみでアメリカの例を引いておく。図Ⅲ-3-4 は自動車機関のフライホイール旋削との係わりで紹介した Bullard の *Contin-U-Matic* 堅旋盤の進化形で、P&W R-1830 *Twin Wasp*(2R-14)のシリンダヘッド加工に用いられていた機械を示す。これも Fellows ギヤシェーパーなどとならんで、アメリカ自動車工業の発達が工作機械の進化という間接的な経路でその航空工業を支えていた事実を端的に物語る好事例と言えよう。なお、*Twin Wasp* なる発動機は後の強化版の R-2000 と合せて 20 万基以上生産され、今なおオールタイム・ランキング 1 位を占めるベストセラー航空発動機である。

図Ⅲ-3-4 P&W *Twin Wasp* のシリンダヘッド加工に用いられていた Bullard の専用機



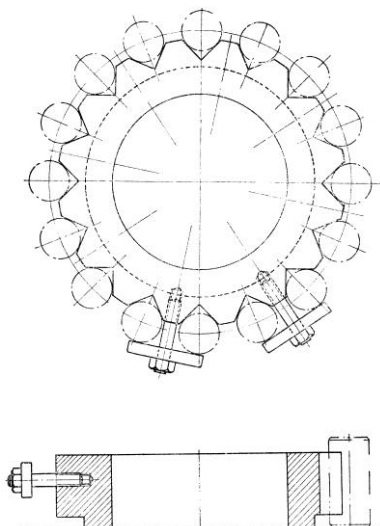
笹木泰藏「米國に於ける航空發動機生産」内燃機關編輯部編纂『昭和十七年度版 内燃機關技術大觀』山海堂、1941年、所収、372頁、第3圖。

¹¹⁰ 早締めナットについては Scheibe und Waschinger/粕谷・石橋・水上訳『ジグ設計製作便覧』増補版、140頁、ピッチの異なる同一方向ネジの併用については、同 122~127頁、古い資料として長澤寸美遠『治具及取付具』共立社、實用機械工学講座・工作編、1934年、22頁、参照。ターンバックルについては長澤同上書、72~73、81頁、参照。荒川はターンバックルの使用例についてのみ1件、紹介している。これについては『治具』614頁、第3061圖、参照。長澤寸美遠は元・陸軍技師。

本機は逐次加工を行う 6 つのステーションから成り、ワークはロータリー・テーブル上の 6 箇所にチャッキングされて自転させられ、1 つのステーションでの加工を終えればテーブルの回転によって次のステーションへと公転する。本機は *Contin-U-Matic* よりも更に独立型トランスファマシンに近付いた自動機で、加工は円筒部内径の粗旋削とフランジの外径および面粗旋削、燃焼室ドーム粗削り、フランジ仕上げ旋削とフランジ裏の旋削、燃焼室ドーム仕上げ旋削、円筒部内径仕上げ旋削とフランジ面取り旋削という段取りで進捗せしめられた。ちなみに、内径の公差は $\pm 0.002\text{in.}(0.05\text{mm})$ であった¹¹¹。

図Ⅲ-3-5 はロータリーテーブル付きフライスに円筒状のワークを取付ける治具を示す。この種の治具は気筒胴粗形材の端面粗加工に関係してくる。

図Ⅲ-3-5 ロータリーテーブル付きフライスに円筒状のワークを取付ける治具

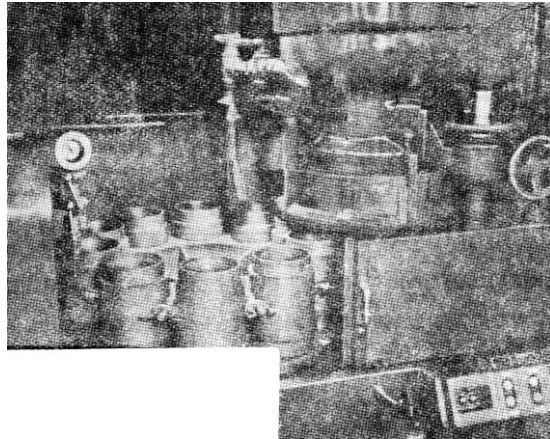


『治具』865 頁，第 6072 圖。

図Ⅲ-3-6 がそれで、類似の治具を活用したロータリーテーブル付きフライスによる気筒胴鍛造粗形材の端面研削状況が示されている。

図Ⅲ-3-6 ロータリーテーブル付きフライスによる気筒胴鍛造粗形材の端面研削と治具

¹¹¹ 笹木のかような説明ではステーションは 5 つであったことになる。だとすれば、本機は 6 ステーション 5 頭機であったとの結論になる。なお、この著者の文章は拙く、その用語法は時にデタラメである。

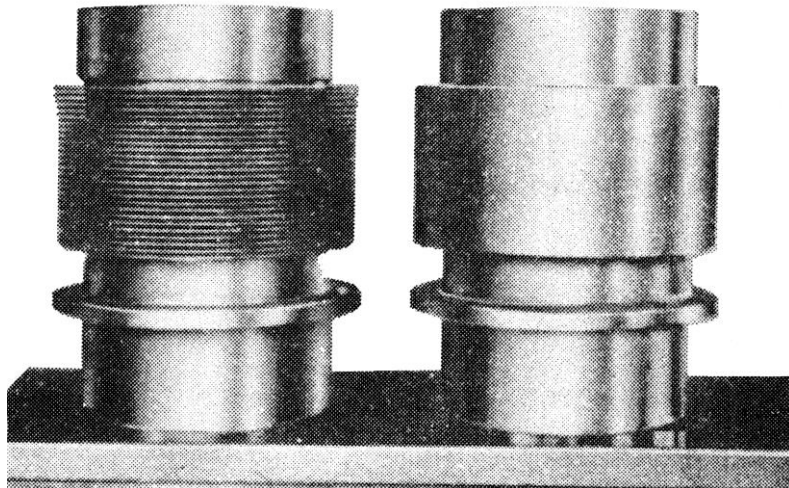


『治具』867頁，第6073圖(A).

写真の切欠きは出典文献に由来.

空冷発動機用シリンダバレル工作の伝統的手法は肉厚鋼製円筒として鍛造されたシリンダバレル粗形材を旋削してフィンやベースフランジを削り出すことであった。冷却フィンの旋削は多数の突切りバイトを束ねた楕型バイトによって行われた。図Ⅲ-3-7 にフィン削り出し前後のワークを示す。

図Ⅲ-3-7 冷却フィン削り出し前後のシリンダバレル

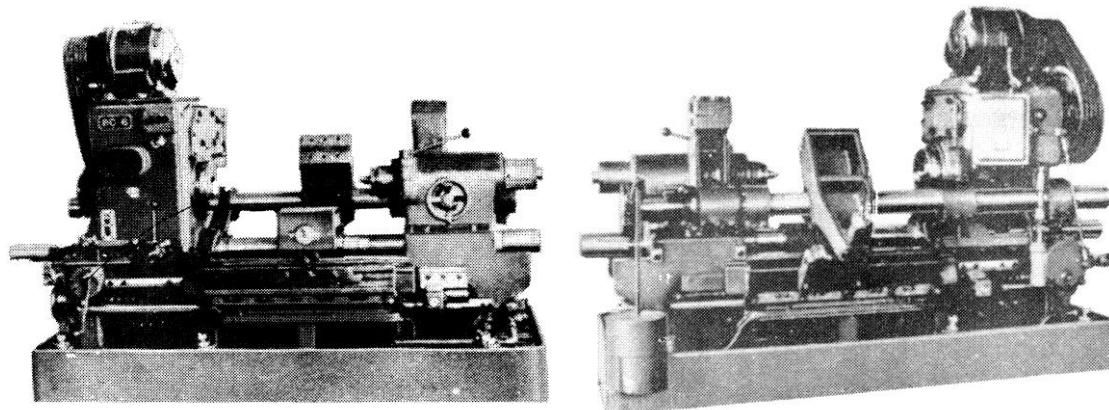


機械工学図集編集委員会『機械工作 機械工学図集1』技報堂，1952年，87頁，⑤.

一連の工作に用いられる多刃旋盤としては Fay 型(米)や Drummond Brothers Ltd.(英)の Maxicut Lathe が著名であった。わが国では豊田工機(→(株)ジェイテクト)と日立精機とによって Fay 型が模作された。図Ⅲ-3-8 にその外観を，図Ⅲ-3-9 にその工作状況と粗削りパイ

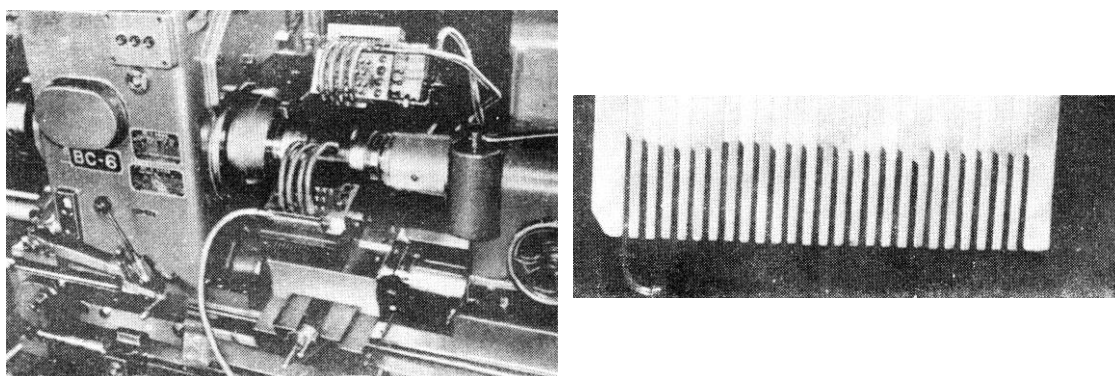
トの外観を示す。刃物台は手前と向う側の 2 つ設置可能となっており、機械の制御はカムによって自動化されていた。心間距離 700mm, 刃物台上の振り 420mm, 主電動機出力 20HP/1000rpm. 主軸は 28~180rpm の間で 8 段変速であった¹¹²。

図Ⅲ-3-8 模作 Fay=日立精機 BC-6 型多刃旋盤



同上書, 87 頁, ①, ③.

図Ⅲ-3-9 日立精機 BC-6 型の稼動状況と粗削りバイト



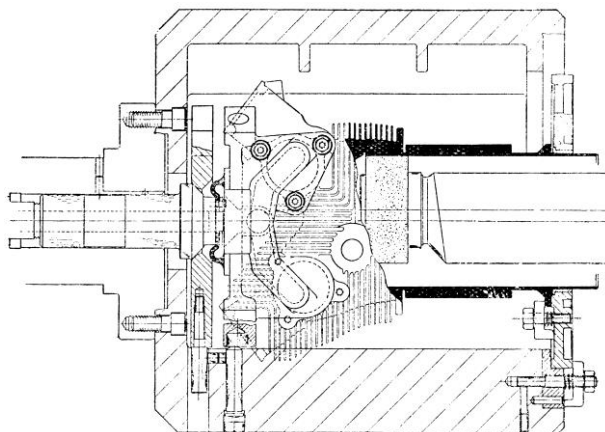
同上書, 87 頁, ④, ⑥.

シリンダの工程順としては、この後に件の気筒頭“ねじ込み・焼嵌め”が来てワークは図Ⅲ-3-10 のような結合状態とる。この図はベルチャックを活用する Wright 流の気筒胴内面研削工程の実施状況を示すものである。吸排気弁挟み角はアメリカの航空発動機や中島発動機の多くにも旧くから採用されていた 70° となっている。気筒頭を胴部にねじ込み・焼嵌めで結合した後、内面をストレートな円筒に研削するのが Wright→中島流の工作法であ

¹¹² 佐々木榮一『工作機械總覽』岩波講座機械工学 [IV 機械工作] 1942 年, 5~7 頁には最大 3 つの刃物台を以って空冷シリンダの旋削を行う自動多刃旋盤が略解されている。遺憾ながら、メーカー名や機種についての言及は見当たらない。

った。この工法によって成形された気筒胴は運転中の昇温により頭部へと向って若干ではあるがラップ状に拡径し、ピストンの首振りを助長する。これによってリングの角が気筒壁をかじる状況が出来れば気筒壁に「段減り」を生じがちとなる。これは Wright→中島流工作法に取り憑く持病であった。

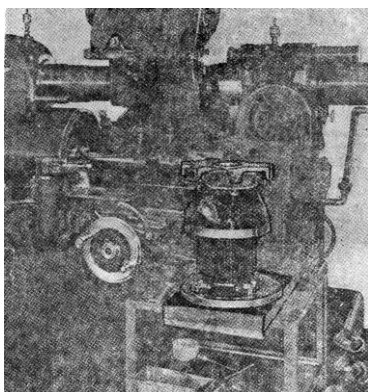
図Ⅲ-3-10 ベルチャックを用いる気筒胴の内面研削(Wright 式)



『治具』880 頁，第 6093 圖。

図Ⅲ-3-11 はこの工作の現場を示す画像で、心出し用の金具をベースフランジに取り付けられたワークが内面研削盤の前に取り置かれている。

図Ⅲ-3-11 Wright 式気筒内面研削の作業状況



『治具』881 頁，第 6094 圖。

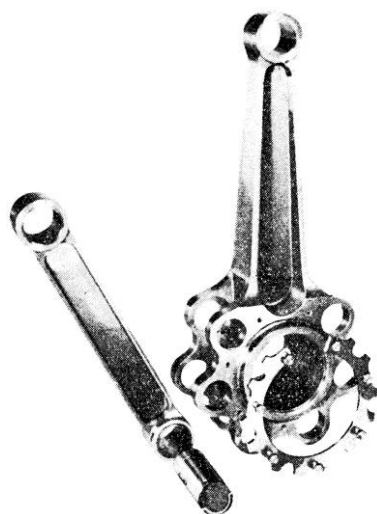
これに対して、P&W や三菱の工法では気筒胴内面は単独で真円筒に仕上げられた後に頭部をねじ込み・焼嵌めされた。冷態時、焼嵌めの締り代によって先細りを呈する気筒胴のプ

ロフィールは運転中、昇温によって真円筒に近づくため、「段減り」に類する現象は抑止されていた¹¹³。

ii) 主連桿連桿・副連桿関係

空冷星型航空発動機の^{コネクティング・ロッド}連桿は一般にNiCr鋼の鍛造粗形材から削り出されるもので、通常、^{マスター・ロッド}主連桿とその大端部にリストピンで接続される^{アーティキュレイテッド・ロッド}副連桿から成る構造を採っていた(図Ⅲ-3-12)。

図Ⅲ-3-12 空冷星型航空発動機のごく一般的な主連桿と副連桿



富塚・大井上編『航空発動機』152頁，第90圖。

発動機は Gnome-Rhone *Mistral Major* (仏：2R14)。

そして、主連桿の工作こそは空冷星型航空発動機部品の機械加工体系にあつて精華とも形容されるべき作業であつた。ただし、当時、ピストン航空発動機は性能的に伸び盛りであつたから、メーカー、型式、年式ごとの差は甚大であり、決定版としての推挙に値するような工程の描像を確定することは到底、不可能である。以下に引くのは同時代文献に切削手順の一例として挙げられているモノで、Wright *Cyclone* 発動機のいささか古いタイプの部品工作に係わる事例である¹¹⁴。

先ず、鍛造粗形材に対して大端部終端への位置決め溝ミリング、同外周端部へのミリングが実施された。この位置決め溝を基準としてボール盤にてクランクピン軸受下孔が穿孔さ

¹¹³ 両工法の対比や問題点、熱変形の発生状況については前掲拙稿にて散々、論じられている。

¹¹⁴ 東・三枝「発動機工作法」122~126頁，参照。意味不明かつ承服しかねる箇所は無視して意味を繋げた。

れた。その後、旋盤にかけてクランクピン軸受孔のセンタードリルによる拡径、大端部フランジおよび同ハブの表面粗旋削、クランクピン孔中ぐり、同油溝切り、クランクピン軸受孔リーマ通しへと続いた。小端部にはストラドル・ミリング(図Ⅲ-2-37)、ピストンピン・ブシュ孔のガイド孔穿孔、沈みドリルによる同拡径、同リーマ通しが施された。

更に、ピストンピン・ブシュ孔と大端部外周とを基準としつつ、今川焼状をなしている大端部に対して多軸ボール盤によるリストピン孔穿孔(9気筒の一例では1つおきに4個)、裏返して反対側からも同様の孔明けが繰返された。これで都合8個のリストピン孔が明けられたことになる。設計で指定されているならバランス孔(後掲図Ⅲ-3-20, -21)の穿孔も行われた。

桿部への溝彫りは大端側に太い穴を立てて座ぐり、小端側には細い穴を立てて座ぐりし、それらの間をミリングする手順によって行われた。テーパ付きの溝を彫るため加工は斜めに進行せざるを得ない。よって、1工程で残された肉はワークの角度を反転させて削ったようである。生産性を上げるため、ワークは2本取りとするのが普通であった。チャンネルの内側面、外側面、フランジ端面はいずれもエンドミル加工によって仕上削りされた。

続いて、今川焼を2つ割にするかのような工程が始められた。まず、適当な治具によってワークをボール盤のテーブル上、斜めに、連桿を時計の針に見立てれば1時のあたりで固定し、ドリルをハブ、即ちクランクピン軸受孔の拡大円に対する接線方向にもみ込んで貫通孔を明ける。ワークを裏返して反対側にも同じ穿孔を行う。つまり、今川焼にはかなり太い“\”型の孔が明けられた格好になる。この今川焼を咬み合わせカッタと回転テーブルとを用いて外周よりミリングし、両フランジ(●)間の下部で300°ほどハブを取巻き、直立させた状態で観た主連桿の大端部水平断面を“コロ”状とする溝が削り出された。

フランジの外周はヘリカル・カッタを用いる倣いミリング加工によって切削された。この工作は紹介事例に関する限り、テーブルの回転とカムによるその進退との協調によって行われた。

小端部はピン方向の幅をミリング仕上げされ、桿部とのフィレットはエンドミルによって仕上げられた。主連桿の切削加工に係わる切削油についての言及は一貫して見当たらない。

更に、クランクピン軸受孔および同ハブ両側面の研削、リストピン孔のリーマ通しが実施された。後者はそれぞれに粗リーマと仕上リーマとをくわえさせた2つの4軸ドリリング・ヘッドを用いて行われた。組込まれるべき副連桿の端部とフランジ内面とのすき間はエンドミルで粗削りの後、中ぐり棒に銜えさせた皿もみバイトを舞いカッタとして用いて仕上げられたとある。ワークは回転テーブル上に取付けられていたのであろう。

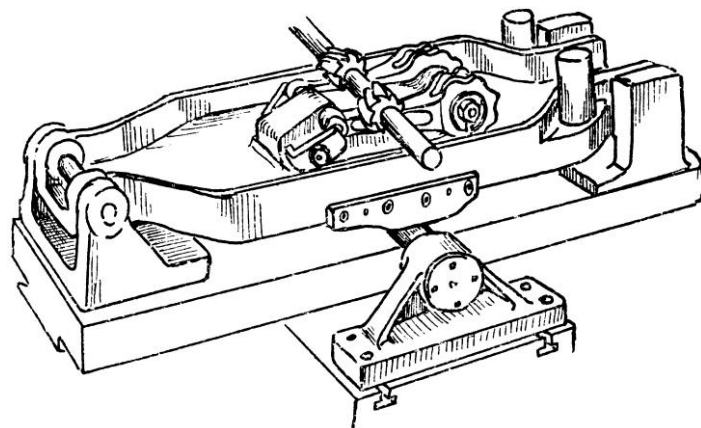
フランジ面にはリストピンを嵌入してから抜け止めの当て板を固定するためのタップ下孔が穿孔され、また、リストピン孔からはハブを貫いてクランクピン軸受孔の油溝へと通ずる油孔が穿孔された。

仕上はサンドペーパーとたわみ軸駆動の手持ちグラインダによって施された。磁気探傷を済ませたワークは全面に亘ってバフがけされ、リストピン孔の研削仕上で加工は終了と

なった. クランクピン軸受となる鋼製裏金付きケルメットは主連桿を 150°Cに油中加熱して
 圧入された. これも一種の焼嵌めである.

以上を前提として荒川が掲げる工作状況図を観れば, それらは必ずしも工程の進捗を忠
 実に表現しておらぬ, むしろ意図的に歪曲しているのではないかとさえ訝られる内容とな
 っている. 先ず, 図Ⅲ-3-13は2本の主連桿の外周片側を切削する要領を示す実体図である.

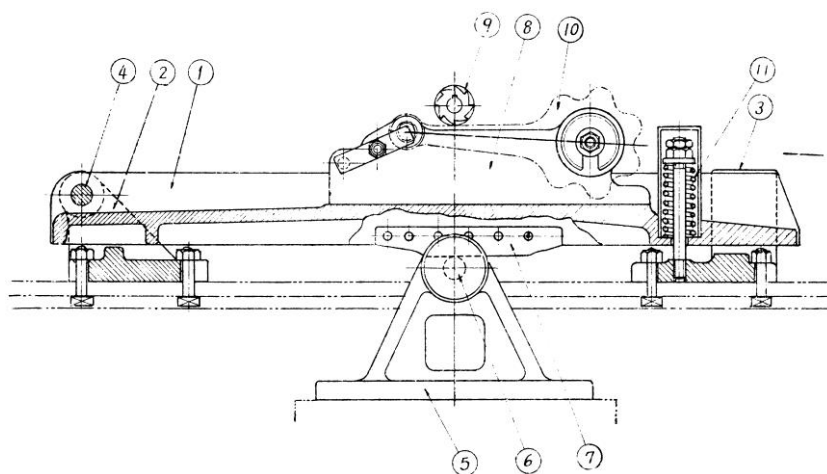
図Ⅲ-3-13 2本の主連桿外周片側が切削される要領



『治具』684頁, 第3194圖(A).

工作の詳細はこの大がかりな治具を詳解した図Ⅲ-3-14によってより明らかとなる. ワー
 ク⑩は支点④を軸として揺動可能な治具のテーブル①上にセットされ, ④は横フライスの
 テーブル上に固定されている. ローラー⑥を担持する架台⑤はサドル上に固定されている.
 横フライスのテーブルが左方向に送られて行けば, ローラーとテンプレート⑦との作用に
 よってテーブル①は④を軸にその傾斜角を変化させられる. これに伴いカッタ⑨とワーク
 との位置関係が変化し, テンプレートによって定められた形状がワークに転写される.

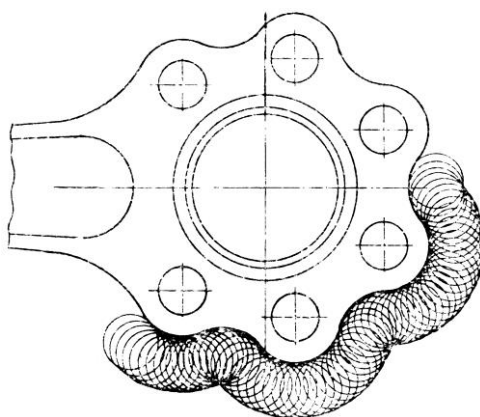
図Ⅲ-3-14 主連桿外周の片側を切削する治具



『治具』684頁，第3193圖。

もつとも、カッタの径や2本取りである点などから察するに、これは片側・粗削り用のシカケであったかと想われる。図Ⅲ-3-25は恐らく仕上げ削りの要領を示す図である。マシンングセンタ切削するワケではないので、実際にはワークの方が進退可能な回転テーブル上に固定されて旋回しつつ出入りし、カッタは同じ場所で回転するだけである。本図は東・三枝の掲げたヘリカル・カッタを用いるフランジ外周倣いミリングの工作原理を表現する画像でもある。

図Ⅲ-3-15 大端部の外周を適当な外径を有するフライスの包絡線として削り出して行く要領

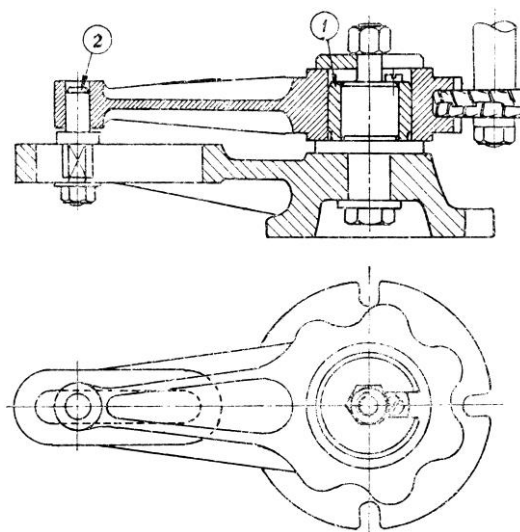


『治具』589頁，第3015圖。

図Ⅲ-3-16は今川焼状を呈する大端部にフランジを立てるための溝の粗加工が旋回治具と咬み合わせカッタを用いて実施される要領を示す。この図からは東・三枝の例のようなドリリングを省き、溝彫りをミリングのみで済ませていたらしき状況が浮き彫りになる。②は可動となっており、中心間距離を違えた様々なワークへの対応が可能となっている。これは寸法精度の低いワークを扱う場合の微調整機構である可動やげん台とはその趣旨を全く異にするシカケである¹¹⁵。

図Ⅲ-3-16 大端部フランジ間の溝の咬み合わせカッタによる粗切削

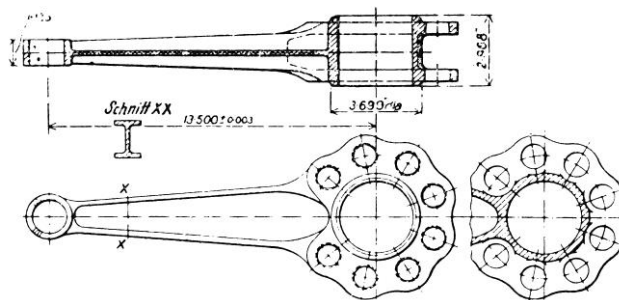
¹¹⁵ 可動やげん台については M,A, Ahcepob/長谷川一郎訳『治具設計の理論と実際(I)』大河出版，1969年，41頁，参照。



『治具』603頁，第3039圖。

なお，図Ⅲ-3-17右下に示されるとおり，大端ハブとロッド両側面との接合箇所は主気筒に前後する気筒のリストピン取付部に近く，当該副連桿を逃すためにエグリを入れてやる必要を生じがちである．このような場合，図Ⅲ-3-16のようなカッタでは直径が大きすぎるから倣い加工は不可能であり，当該部位は別途，フライス削りされねばならなかった．この場合，工作は小径のフライスカッタを当該リストピン孔から挿入してなされた．

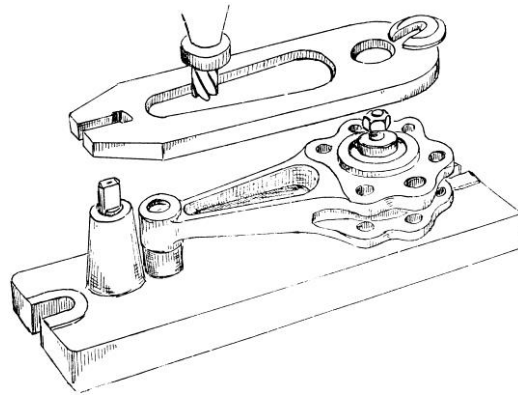
図Ⅲ-3-17 空冷星型航空発動機の主連桿(Bristol Pegasus [英: 1R9]の例)



富塚 清譯「空冷星型発動機の製作並に構造材料」『内燃機關邦譯文獻集』第4巻 第6號，1939年，第2圖．ATZ誌(ドイツ)記事の翻訳．

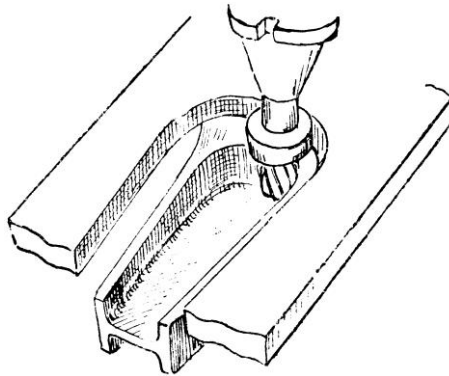
図Ⅲ-3-18は桿部の溝を倣い切削する要領を示す．これは仕上げ削りであるように観える．カッタにはめ込まれたローラーがテンプレートをなぞってゆく有様は図Ⅲ-3-19に拡大表示されている．

図Ⅲ-3-18 桿部の溝を倣い切削する状況



『治具』672頁，第3173圖¹¹⁶。

図Ⅲ-3-19 カッタにはめ込まれたローラーがテンプレートをなぞってゆく有様

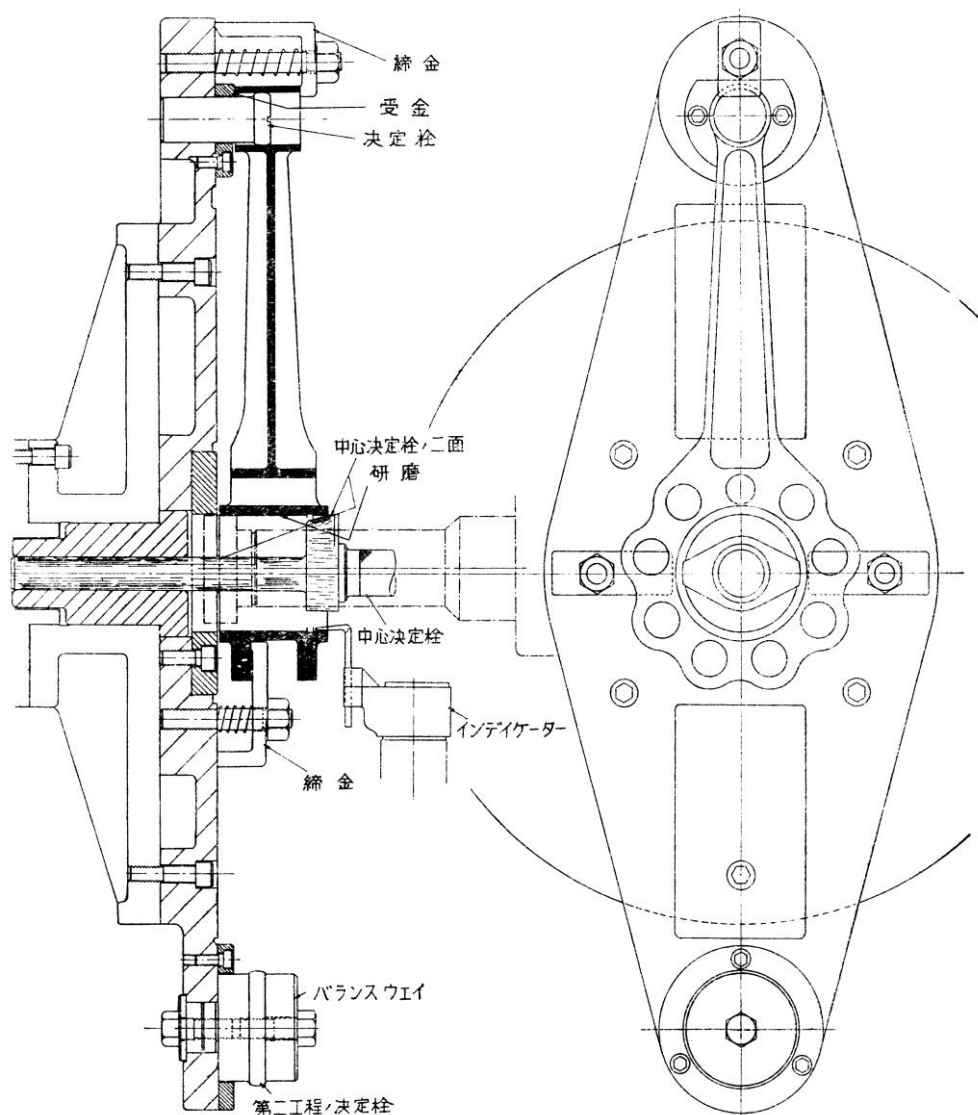


『治具』672頁，第3174圖。

荒川が掲げた主連桿の工作は以下，研削へと移行する．図Ⅲ-3-20は面板状の治具を用いて主連桿大端部のクランクピン軸受ハブ孔を内面研削する状況を示す．一点鎖線によって研削盤主軸と砥石車が表現されている．本図に観るとおり，研削はインジケータの示度を読み取りながら徐々に進められたようである．

図Ⅲ-3-20 面板状の治具に取付けられた主連桿とクランクピン軸受ハブの内面研削

¹¹⁶ 本図は機械製作法研究会編『最新 機械製作』409頁に図22・21(その1)として無断引用されている。



『治具』839頁，第6034圖。

右図大端部，12時の位置に見えるのはバランス・ホール。

バランスウェイトの欠字は元からのモノ。

中心決定栓の「ダイヤモンド型」に属する平面形状およびセッティングは右図の通りであった。これは2個の孔に位置決めピンを挿入して位置決めを行う場合に生じがちな「過剰位置決め」を予防する標準的な方途である。ただし、その断面形状は孔に落とし込む場合に選ばれるストレートではなく、ワークに被せて一方向にセンタリングするのに適した円錐型の接触面となっていた¹¹⁷。

¹¹⁷ Ahcepob/長谷川訳『治具設計の理論と実際(I)』10~12，26~27頁，Scheibe und Waschinger/粕谷・石橋・水上訳『ジグ設計製作便覧』増補版，90~92頁，参照。

小端部のピストンピン・ブシュ孔を内面研削する第 2 工程においてはワークをシフトさせて大端部を「第二工程ノ決定栓」の所に持ってくる。当然、この時にはピストンピン・ブシュ孔に入る位置決め栓はダイヤモンド型ないし平型となる。また、図Ⅲ-3-20 で小端部が占めている位置には非常に大きなバランス・ウェイトが配されねばならなかった。

図Ⅲ-3-21 はリストピン孔の内面研削に係わる画像である。使用されている治具は図Ⅲ-3-20 のそれと似たモノであったが、この治具が果すべき機能ははるかに込入っていた。それが重要な役割、つまり複偏差の影響への対策を担うものであったからである。

そもそも、主・副連桿構造(複傾斜)を有する発動機においてはクランクピン中心の軌跡とクランクピンの回転に主連桿の首振りが重なって合成されるリストピン中心の軌跡とは互いにその形状を異にする(複偏差)。前者がクランクピンの回転円そのものであり真円をなすのに対して後者は楕円に類するものとなる。しかも、図の単列当り 9 気筒の発動機であれば 8 つあるリストピンのクランクピンに対する位置関係によって定まる首振りの影響度は一様ではなく 8 通りに分たれる。もっとも、リストピンの配置は主連桿中心線に対して線対称となっているから、件の楕円は 4 種類が線対称に両側に振分けられた格好になる¹¹⁸。

このことにより主気筒を除く 8 つの気筒において、①：上死点高さ、つまりクランク軸中心から測られたピストンの位置が 4 通りに分たれ、かつ、②：それぞれが上死点を迎える瞬間のクランク角に単傾斜(複傾斜なき場合)におけるそれに対して前後に、即ち±で 8 通りのズレを生ずる。②に対しては放置するか点火装置のカムを不等角カムに置換するかの対処法がある¹¹⁹。

ところが、①は燃焼室すき間容積に係わるモノで、圧縮比のバラツキに直接、しかも極めて大きな影響を与えるため、その放任はご法度となる。この厄介ごとにはピストンのコンプレッション・ハイト、あるいは副連桿のピン孔中心間距離の段階区分によって対処できなくもないが、かくすれば製造や部品補給面での煩雑さはきわまりない。

そこで選ばれたのがリストピン取付け半径ないし単にリストピン半径、即ちリストピン中心のクランクピン中心からの距離を単列当り 9 気筒なら 4 通り、同 7 気筒なら 3 通りに段階区分する方途である。

東・三枝の挙げた例では 4 軸ドリリング・ヘッドが使用されていたが、この専用機にはかかるリストピン半径の微細な区分けが精確に織込まれていた。ワークを裏返せば偏差の軸対称性ゆえに同じく正しい穿孔やリーマ通しが自ずとできていたのである。

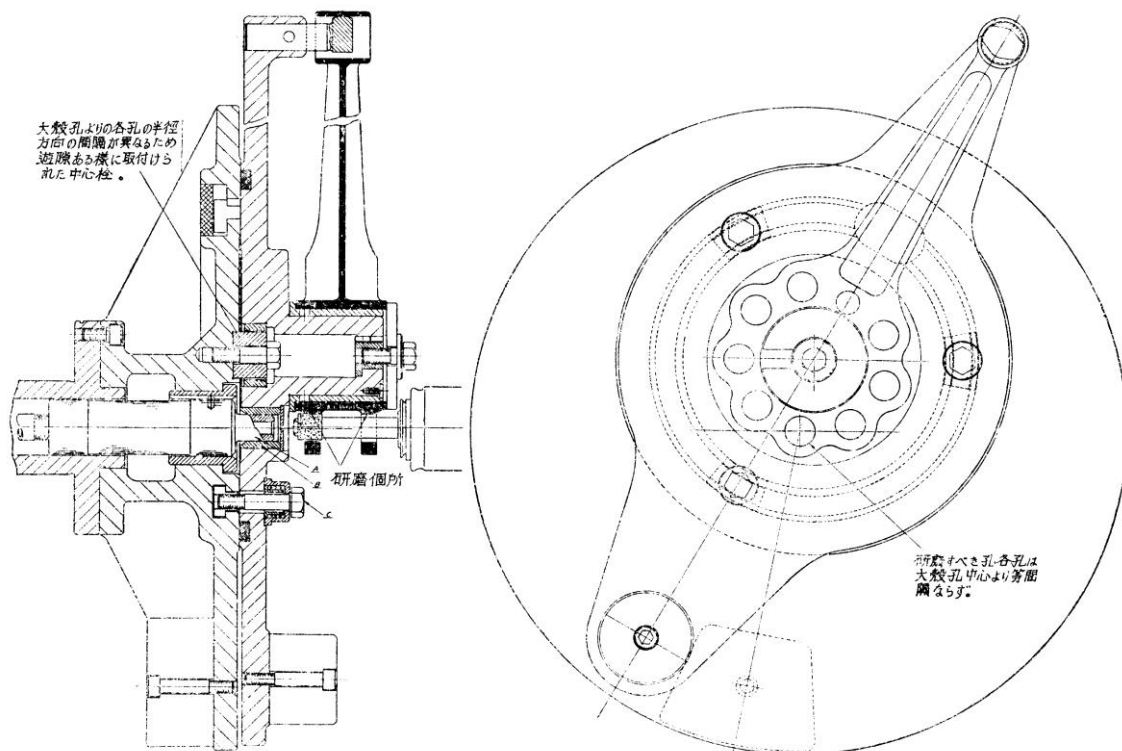
これに対して、荒川の伝える工法は図Ⅲ-3-21 の通り、為せば成る式の旧弊な手間仕事であった。即ち、リストピン中心位置に対して 8 通りの斟酌を加えるためのブシュ *B* が 1 つずつ *A* に嵌め込まれた。勿論、*B* は *A* に対して一定の角度でしか嵌らぬ構造を有していな

¹¹⁸ 複偏差についても前掲拙稿、第Ⅲ部にて詳しく論じられている。

¹¹⁹ 実際にはピストンの行程にも若干の段階区分を生ずるが、これについては放任されるしかない。

なければならない。そして8つの B あるいは B_{1-8} はワークを載せた治具全体をその都度、位置決めするピンとして機能したワケである。

図III-3-21 リストピン孔の内面研削に係わる治具とその使用状況

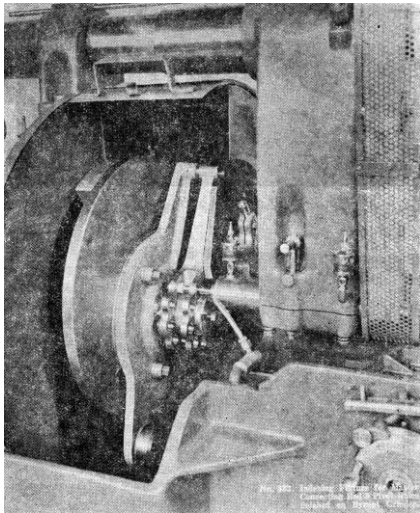


品物は中心決定栓により研削すべき中心を位置決定する。アシBは研削すべき孔の数だけ8個ありてAに嵌る。一つの孔から次の孔に位置を移すときは、中心決定栓Aを引き抜き3個の締付ナットCを緩めて次の孔に分割する。

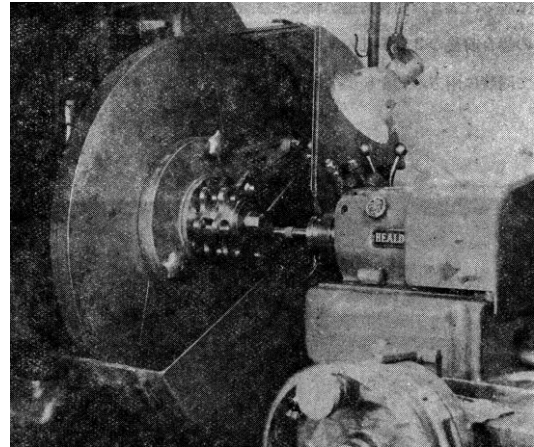
『治具』876頁，第6087圖。

図III-3-22 左は図III-3-21 の治具を使用する実際の工作状況を示す写真である。同右には種類の異なる内面研削盤を用いて同様の研削加工を行っているところが示されているが、こちらは2枚のフランジに穿たれるリストピンの直径が手前は大きく奥は小さい設計となっているワークであるため、異径・タンデム2連の砥石車が用いられていた。右図、大きな面板上の線は「大體の分割の位置を示す目印」と解説されているが、不詳。

図III-3-22 治具を用いるリストピン孔内面研削の工作状況



Bryant Chucking Grinder Co.(米)内面研削盤

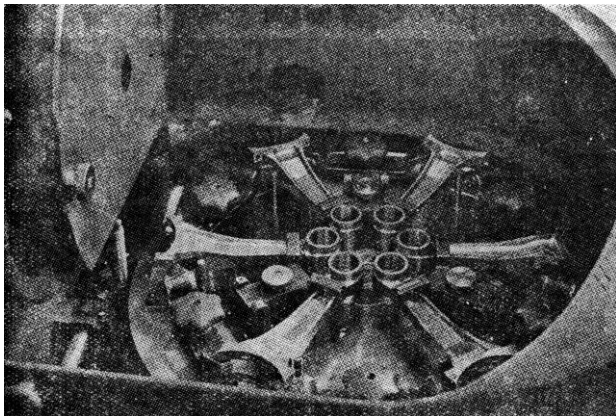


Heald 内面研削盤

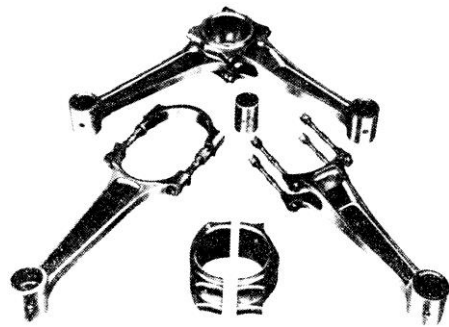
『治具』877頁, 第6088圖, 878頁, 第6089圖.

図Ⅲ-3-23 左は空冷星型発動機ではなく, Rolls Royce *Kestrel* 発動機(液冷 12V)のフォーク&ブレード連桿のフォーク側(右図, 右下)の大端部表面研削状況を示す. 連桿の間に見えるのは“星形にぎり”と呼ばれるモノでその先には押しネジが付けられている. これは締付力が比較的小さくて済む場合に作業性を最優先して使用されるネジである¹²⁰.

図Ⅲ-3-23 R.R. *Kestrel* 発動機のフォーク連桿大端部表面の研削



左: 『治具』870頁, 第6079圖.



右: 富塚・大井上編『航空発動機』119頁, 第60圖, より.

¹²⁰ ドイツの DIN では 7 山星形にぎりのみが規格化されていた. 図Ⅲ-3-23 のそれは 6 山でイギリス規格にはこれがあったのであろう. この種のにぎり付きネジにおいて発揮される締付トルクは同一ネジ径の六角ボルトをスパナで軽く締めた際に発生するその半分以下程度に過ぎなかった. Scheibe und Waschinger/粕谷・石橋・水上訳『ジグ設計製作便覧』増補版, 147~149, 376~377 頁, 参照.

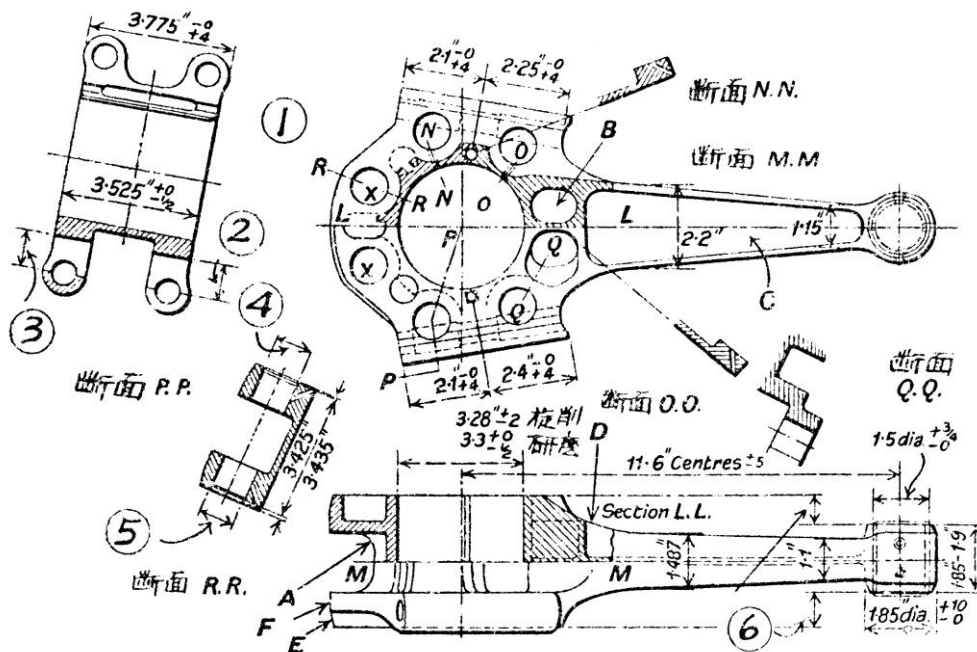
当該部位に係わる研削工程そのものは空冷星型航空発動機においても同様であり、かつ、Wright(米)の *Whirlwind* や Armstrong Siddeley(英)の諸型式、Pratt & Whitney Aircraft(米)の *Twin Wasp*, *Wasp Major* といった空冷星型航空発動機には *Kestrel* のそれに似た一体式クランク軸と自動車機関などのそれを複雑高等化したような分割式大端部付き主連桿との組合せが採用されていたことも事実である¹²¹。

そこで次に、空冷星型発動機の分割式主連桿に係わる一つの工作事例としてまさに *Twin Wasp* のそれを参照してみることにしたい。分割式主連桿と一体式クランク軸とのペアが星型発動機の典型であったワケでは毛頭ないが、上述の通り、*Twin Wasp* なる作品は R-1830 と R-2000 とを合せて 20 万基以上生産されたベストセラー航空発動機である。

図Ⅲ-3-24 に P&W R-1830 *Twin Wasp* の大端部分割型主連桿を示す。左上は大端部の接合面で、その上半分は桿部側、下半分はベアリングキャップ側を表している。桿部側ボルト孔は 0.985~0.990in. にリーマ仕上げの後、1in. φ に研削仕上げされた。キャップ側ボルト孔は 1.000~1.010in. にリーマ仕上げの後、1.015in. φ に研削仕上げされた。いずれにおいても許容誤差は +0, -0.01905~0.03175mm と指定されていた。断面 R-R に観るリストピン孔④は 0.985~0.990in. φ にリーマ仕上げされた後、25.381~25.368mm φ に研削されたが、その片面側はピンの挿入を容易にするため若干太く、25.743~25.730mm φ まで研削された(⑤)。

図Ⅲ-3-24 P&W R-1830 *Twin Wasp* の大端部分割型主連桿

¹²¹ 往時、一般的に分割式大端部は一体鍛造粗形材にクランクピン軸受孔や小端ブシュ孔を明けた後、軸受冠^{ベアリング・キャップ}締付ボルト孔まで穿孔した上で大端部を桿部側と軸受冠側とに切断して粗加工を終えるのが普通であった。キャップボルト孔穿孔用治具の一例については M.A. Ahcepob/長谷川一郎訳『治具設計の理論と実際(II)』大河出版、1970年、88頁、図7・20、参照。

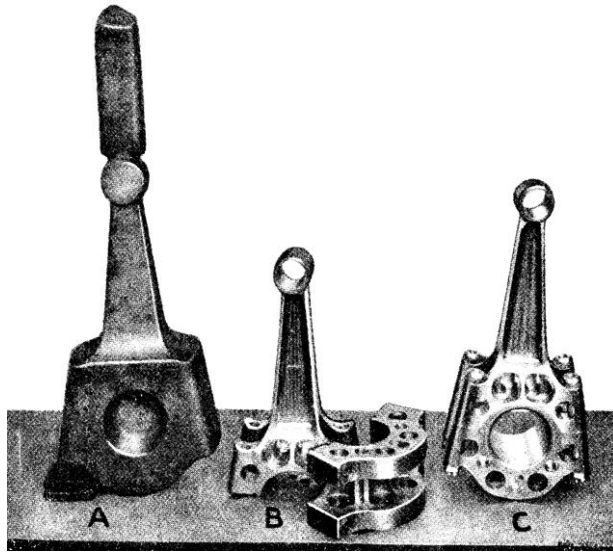


編輯部「マスターロッドの加工工程(航空機機関用)『機械工の友』第5巻 第9号, 1942年9月, 3頁, 第1圖(譜調反転).

本図はこれらの小孔に寸法が記入されていない上, 説明が日本語に置換えられていたり英語のままであったりと, ずさんな編集で添付の解説もいささか不得要領ではあるが, 曲りなりにも寸法と公差が入った図面となっている点は貴重である. その公差はインチ表記のためもあって誠に取っ付き辛いが, $1 = \frac{1}{1000} \text{ in.} (0.0254 \text{ mm})$ という表記法となっていた. つまり, 4 なら $\frac{4}{1000} \text{ in.} (0.1016 \text{ mm})$ である. 大小端軸受部には $\frac{1}{2}$ とか $\frac{3}{4}$ といった $\frac{1}{1000} \text{ in.}$ を割込む極めて厳格な公差が指定されており, クランクピン軸受メタル嵌入孔の直径を例に採れば $83.82 \text{ mm } \phi, +0, -0.0127 \text{ mm}$ のホーニング仕上げが指定されており, その軸受幅についても小端ブシュ嵌入孔の直径についても似たような厳しい公差が求められていた. これは恒温室加工を行わぬ範囲では最高レベルの要求精度である.

図Ⅲ-3-25 はこの主連桿の鍛造粗形材 A, 半製品 B, 完成品 C を示す. C の重量は A の $\frac{1}{5}$ になっており, その間の機械加工の総工程数は「72 を下らない」と表記されている. しかしながら, 工程解説がまたまたズサンを極め, クランクピン孔やピストンピン・ブシュ孔の穿孔手順さえ明確になされておらぬばかりか, ピストンピンを片っ端からリストピンなどと誤記しているような有様である. よって, 以下においては幾分, 推定を交えて補いつつ, 「数種の興味ある, 作業」として紹介された工程について見て行くしかない. それでも, 幾つかの個別工程に関しては従前の紹介例より格段の進歩が観られるであろう.

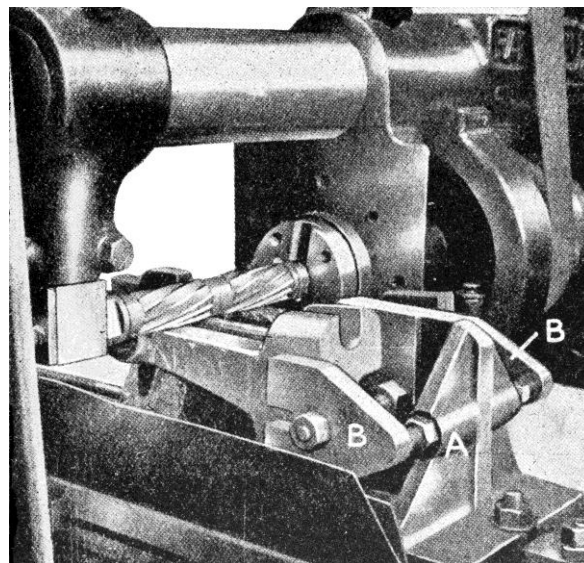
図Ⅲ-3-25 主連桿の鍛造粗形材 A, 半製品 B, 完成品 C



編集部「マスターロッドの加工工程(航空機機関用)」写真1.

まず、粗形材小端先のつかみを切断し、大端部の両側面を粗削りした後、小端部にピストンピン・ブシュ孔、大端部にクランクピン軸受孔を穿孔する。大端部には切断後のキャップ側のそれを含め、基準孔を4個明ける。続いて、メタルソーでキャップとロッドとを切断する。切断は2本同時に行われたが、一直線に両断するワケではないから面倒ではあった。続いて、Cincinnati No.2 縦フライス盤に6in.植刃総形フライスをつかませ、大端部に2枚のフランジを削り出す。主軸回転数18rpm、回転テーブルの旋回送りは手動によった。

図III-3-26 *Parkson* 平フライス盤によるロッド側面削り

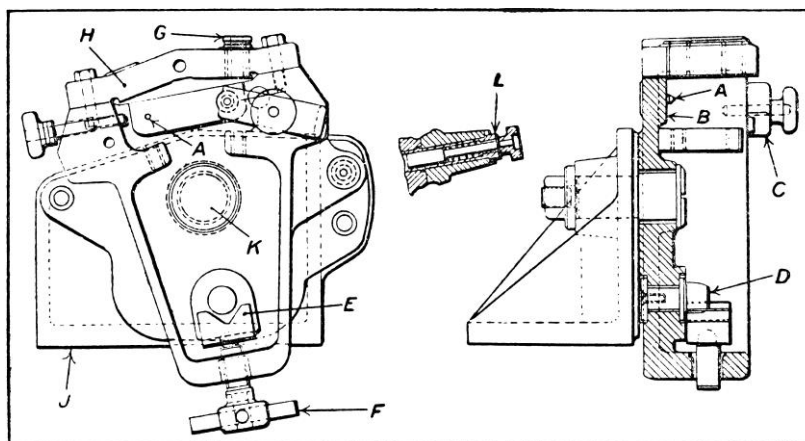


同上、写真2.

次に、図Ⅲ-3-26 のように *Parkson* 平フライス盤(J.Parkinson & Son (Shipley) Ltd.(米))を用いてロッドの側面を 2 本取りでミリングする。治具へのセッティングはピストンピン・ブシュ孔と大端部の基準孔による。カッター径 $1\frac{1}{8}$ in., 主軸回転数 42rpm, 送り 0.95in./min. これに続いてロッド裏表の溝を粗削りした後、熱処理工場にて焼きならしが施された。

焼きならしの後、ロッドとキャップに結合ボルト孔を明ける。このための治具は図Ⅲ-3-27 に示されている。ワークの拘束はピン *A*(実際には左右対称に 2 個ある)を基準穴に合せて行われたが、ロッドの方であればピストンピン・ブシュ孔を *D*に嵌めた上、小端部を *V*ブロック *E*で押え付ける所作をも併用する。本図においてドリルブシュは *G*の位置に嵌められている。そこでの穿孔が終れば、*H*が頂点に来るよう治具を逆サイドに振り、*H*にブシュを嵌めて他方の穿孔を行う。*L*は旋回位置で治具を固定するプランジヤである。

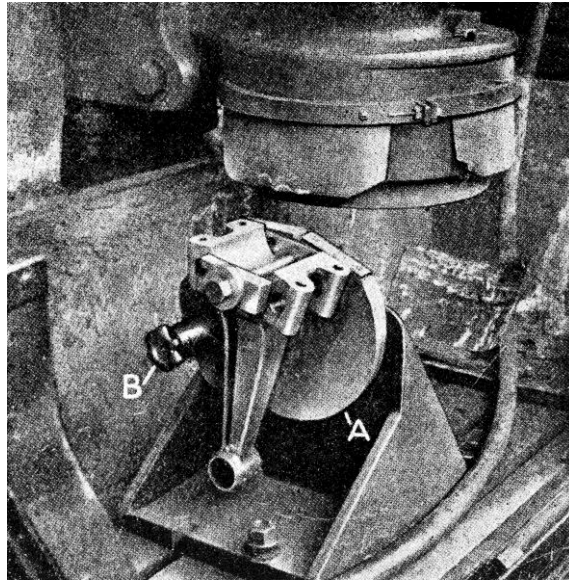
図Ⅲ-3-27 ロッドとキャップへの結合ボルト孔穿孔用治具



同上, 第 2 圖.

続いて、リストピン孔を 2 つ明け、図Ⅲ-3-28 に観るように堅型研削盤にて接合面が研削仕上げされた。接合面は単一の平面ではないから、ワークの角度は *A* によって指定された。砥石車は直径 12in., 切削面幅 1in. のカップ型で Carborundum Co. の Aloxite 粗粒型。

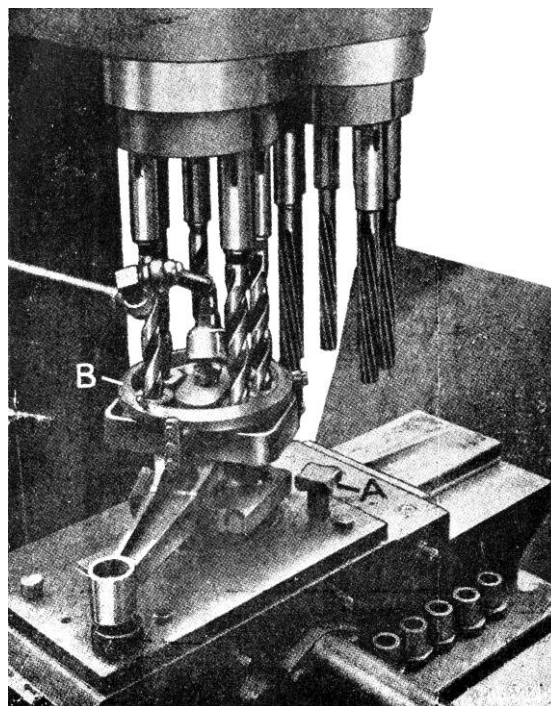
図Ⅲ-3-28 Blanchard 平面研削盤による接合面の研削仕上げ



同上，寫眞3.

次に、リストピン孔の穿孔とリーマ仕上げが多軸ボール盤によって行われた。この多軸ボール盤は6本のドリルと6本のリーマをくわえており、それらの軸には複傾斜の影響を抑えるためのリストピン半径の区分が精密に反映されているため、ワークの裏返しは不要であった(図Ⅲ-3-29)。

図Ⅲ-3-29 多軸ボール盤によるリストピン孔穿孔とリーマ仕上げ

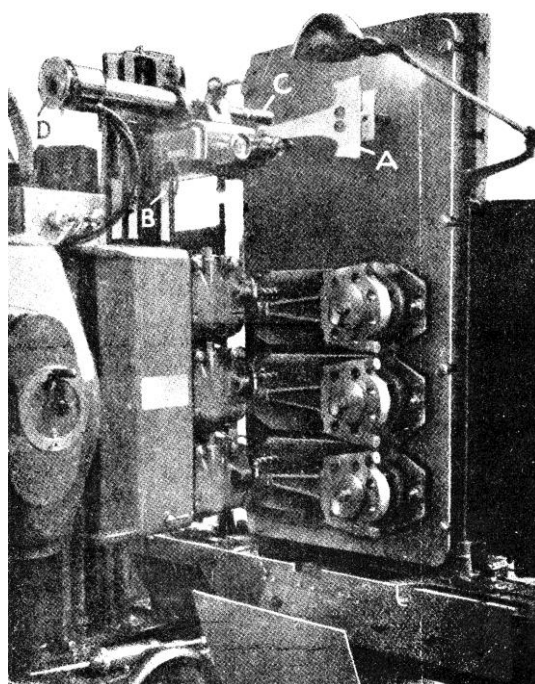


同上，寫眞 4.

ピストンピン・ブッシュ孔は位置決めピンをつかんでいる．B はドリルブッシュの切粉による浮上りを抑える金具である．穿孔後，直ちにスライド式治具を滑らせてリーマ仕上げに移る．A はその位置決めプランジヤである．

続いて，ロッドの輪郭が倣いフライス加工され，溝も仕上げられた(図Ⅲ-3-30)．機械は意外にも Alfred Herbert Ltd.(英)の製品で，しかも Keller 型彫り盤であるという．Herbert は P&W, Inc.からのライセンス導入によってこの 3 主軸頭の横型電気式倣いフライス盤を開発したのであろう．つまり，これは米英合作品であった．A はテンプレート，B は垂直スライド，C はトレーサ，D は送りの方向を指定するダイヤルで，送りは水平垂直ともに 0.8in./min.であった．カッタはヘリカルカッタで直径 1in.，主軸回転数は 140rpm であった．切削は粗と仕上げの 2 段階になっており，A にも 2 重の輪郭が与えられていた．2 度目の切削完了後，カッタは追加の切込みなしで運行方向を逆転し，仕上げ面の粗度を向上させた．

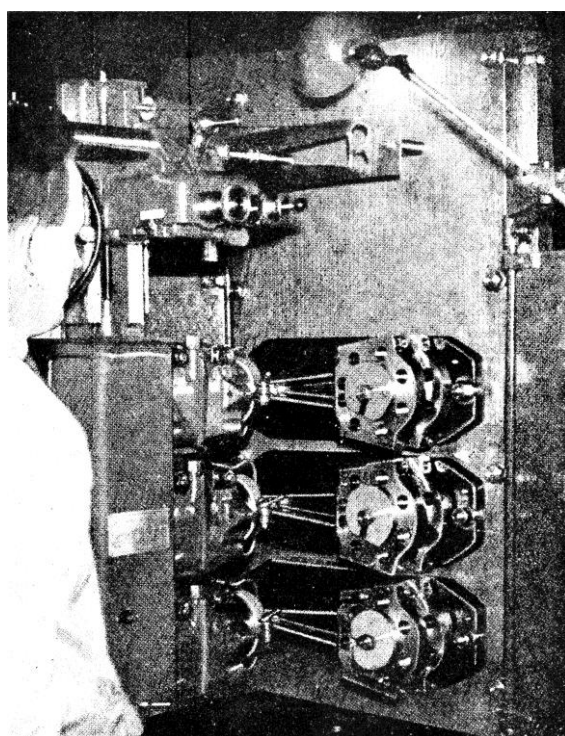
図Ⅲ-3-30 Herbert-Keller マシンによる主連桿の輪郭加工



同上，寫眞 5.

図Ⅲ-3-31は同型の機械によってロッドの溝が彫られている状況を示す。なお、ここでは肉盗みのポケットも彫られた。溝の隅を仕上げるため、工具は角を丸めたエンドミルで、溝加工時の回転数は208rpm、ポケットの加工時には308rpmであった¹²²。

図Ⅲ-3-31 Herbert-Keller マシンによる主連桿の溝加工

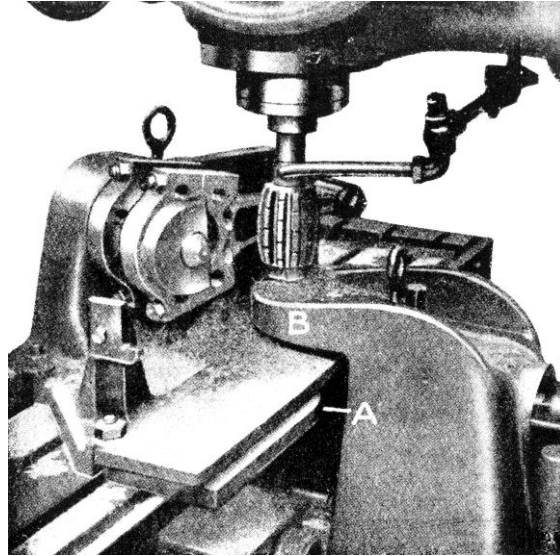


同上、写真6.

図Ⅲ-3-32はロッドの表面から大端部にかけてのフィレット部までを総形フライスを用いた倣い加工により切削する状況を示す。Aはワークへの切込みを制御するカム板、Bは工具のアーバを支えるブラケットである。機械はHerbertのNo.18-V 縦フライス盤、カム板とトレーサとの接触維持には空圧シリンダが用いられた(5.27kg/cm²)。カッタ外径は2 1/4 in.、主軸回転数30rpm、送りは1/16 in./min.であった。

図Ⅲ-3-32 ロッドの表面～フィレット部の総形フライスによる倣い切削状況

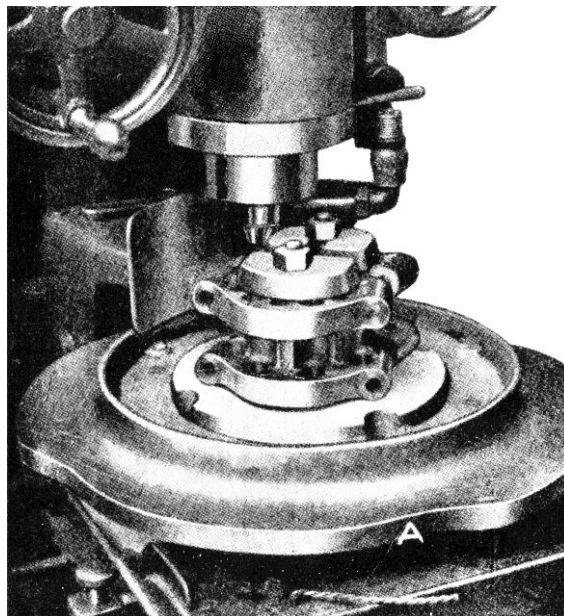
¹²² この写真とほぼ同じモノが *ATZ* 誌に Armstrong Siddeley における製造工程の一コマとして掲げられている。米英合作の機械なら A.S. で用いられていたとしても不自然ではないが、その写真は作業者まで同一人物のようで、彼の右腕の姿勢が若干異なるだけであり、明らかに流用品である。富塚 清譯「空冷星型發動機の製作並に構造材料」、参照。



同上，寫眞 7.

図Ⅲ-3-33は2個のベアリングキャップの輪郭を倣いフライス加工によって面取りする状況を示す。回転テーブルは大きなカムリング A によって水平移動し、工具の切込みを制御した。各ワークの位置決めはリストピン孔 2 個とピンによった。工具は円すい形のフライスカッタで、同じ工具と別のカムによって 2 つの肉盗みポケットの面取りが当該工程の前に行われていた。

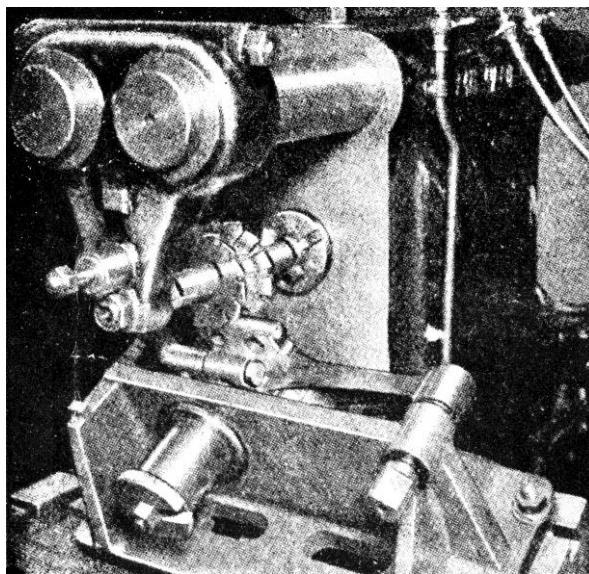
図Ⅲ-3-33 2 個のベアリングキャップの輪郭を倣いフライス加工によって面取りする状況



同上，寫眞 8.

図Ⅲ-3-34 は平フライス盤に総形フライスをつかませ、傾斜治具上に拘束された主連桿の結合ボルト孔周囲を切削しているところを示す。片側 1 ヶ所を削り終わればワークをひっくり返して反対側を削った。ここで用いられているのは本来、2 本取りが可能な治具である。片側のもう一方とその反対側を工作するには本図とは逆傾斜の治具を用いた、とある。

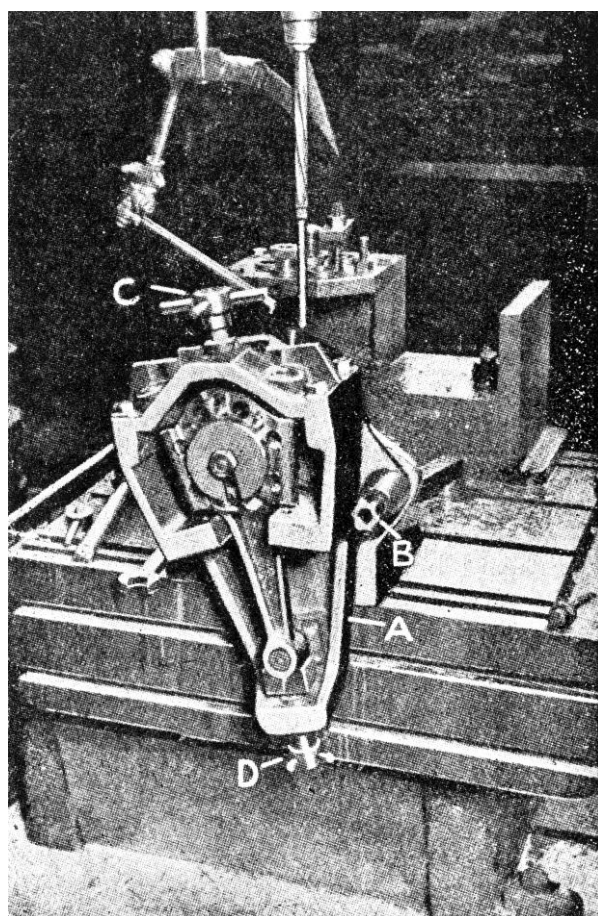
図Ⅲ-3-34 平フライス盤と総形フライス，傾斜治具を用いた主連桿結合ボルト孔周囲の切削



同上，写真 9.

図Ⅲ-3-35 は結合ボルト孔のリーマ仕上げ状況を示す。治具が首振り式になっていた点や、そのワークの拘束方法は前に観た穿孔用治具と同工であった。使用工作機械は James Archdale & Co. Ltd.(英)のラジアルボール盤。

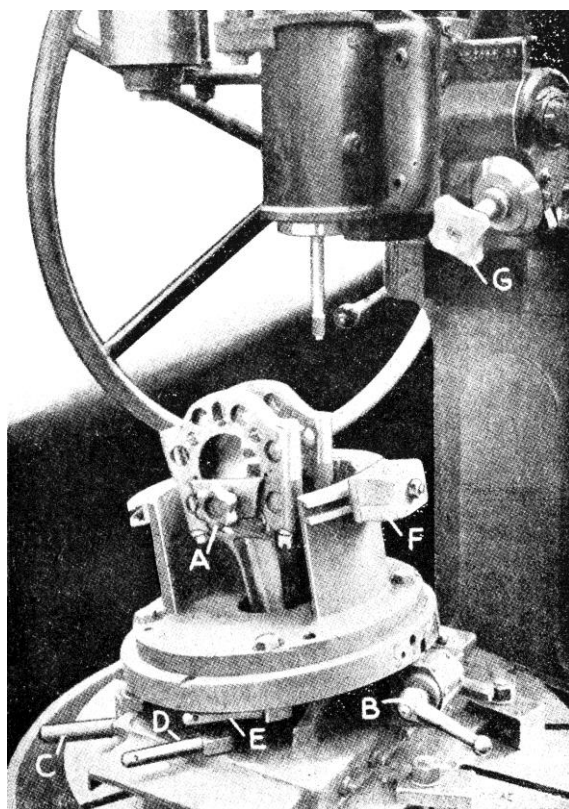
図Ⅲ-3-35 結合ボルト孔のリーマ仕上げ状況



同上，寫眞 10.

ここからは焼入れ硬化後の工作となる．図Ⅲ-3-36 は結合ボルト孔の研削仕上げ状況を示す．ワークは旋回可能な箱型治具に取付けられ，その位置はリストピン孔 2 個により定められた．A はワーク締付ネジ，F は釣合錘である．B は治具の旋回を固定するプランジャに繋がっており，対角線上の反対側を工作する際にはジグを 180° 旋回させた．この一対の工作が済めば，C を操作してテーブルをスライド可能状態とし，位置決めの後，D により再固定してからいま一つの対角ペアの研削へと移った．

図Ⅲ-3-36 結合ボルト孔の研削仕上げ状況

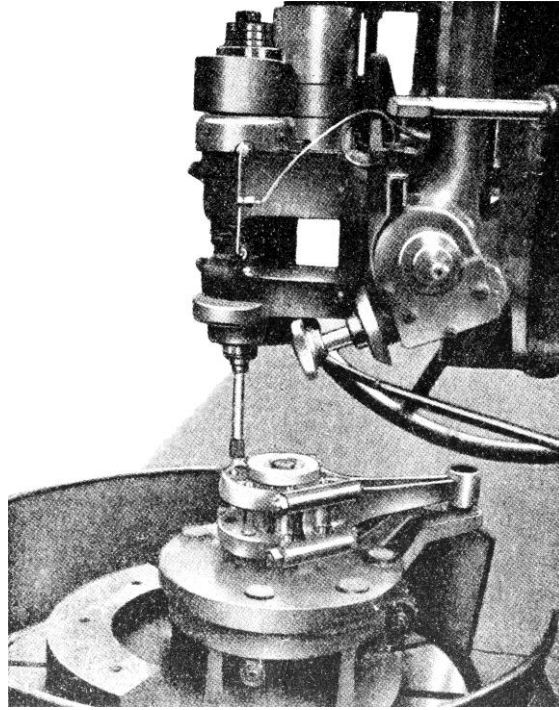


同上，寫眞 10.

この研削盤には油冷スピンドルが供えられており，研削は湿式で一定温度の下に行われた．主軸回転数は 60rpm．砥石車の垂直往復周期は 50 秒であった．工作の進捗にともなって寸法計測を頻繁に行えるよう，主軸にはブレーキが装備されていた．孔の仕上り公差については上述の通りである．

最後に掲げられているのはリストピン孔の研削仕上げである(図Ⅲ-3-37)．使用機械は前図のものと同様の機械であった．ワークの位置決めはクランクピン孔とピストンピン・ブッシュ孔とによった．回転テーブルの旋回角度は単純な割出しで済んだが，リストピン半径の区分に対応するためにカムを用いなければならなかったはずである．

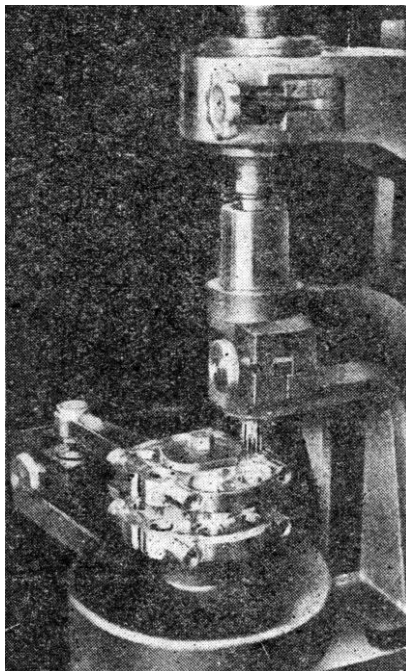
図Ⅲ-3-37 リストピン孔の研削仕上げ



同上，寫真 11.

図Ⅲ-3-38 は Barnes Drill Co.(米)製ホーニング盤によって 6 個のリストピン孔の直径を表裏異径にホーニングする状況を示す。これでリストピン孔の工作は完了となった。

図Ⅲ-3-38 Barnes Drill Co.製ホーニング盤によるリストピン孔のホーニング



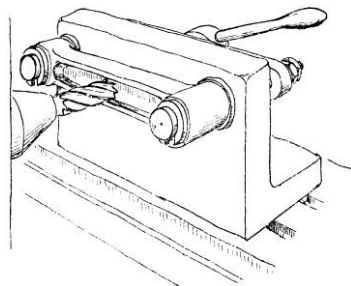
笹木「米國に於ける航空發動機生産」『昭和十七年度版 内燃機關技術大觀』373 頁，第 5 圖。

続いて、副連桿の工作へと眼を転じよう。副連桿に係わって東・三枝が引いた Wright における工作手順の例は以下の通りであった。先ず、その両端をストラドル・ミリングしてから穿孔し、両面をミリングし、溝と両端の周囲もミリング。この粗削りが終わった後、熱処理を施し、粗削りとほぼ同様の手順でヘリカル・カッタを用いて仕上げ切削が行われた。両端のピン孔にはリーマ通しが行われた。リーマ通しの次に研削が行われる場合もあった¹²³。

溝の彫り込みは 2 軸・Double-end 型の Cincinnati 専用横フライスによって行われた。この専用機はワークの両面を加工するもので、主軸の送りは自動・手動併用であった。切削は両端に切り込み、そこからそれぞれ横に掘り進める手順で実施された。一方通行の加工では終端部に向けて溝幅を拡げてしまいがちであったからである。切削油としては「ラードオイル」が用いられた。外周面のミリングが済めば溝の内側のフィレットが総形カッタによって成形された。仕上げられた副連桿両端のピン孔には軸受ブシュが圧入され、2 軸中ぐり盤にて中ぐりされた。

Cyclone の例に続き、荒川によってごく粗略に紹介された副連桿の工作状況につき、図 III-3-39 から瞥見して行こう。これはエンドミルを用いた副連桿溝の切削状況を示す。切粉の排出性からすれば横型機による加工の方が有利である。もっとも、作業員から切削点が見えやすいのは横中ぐり盤である。

図 III-3-39 エンドミルを用いた副連桿の溝切削状況

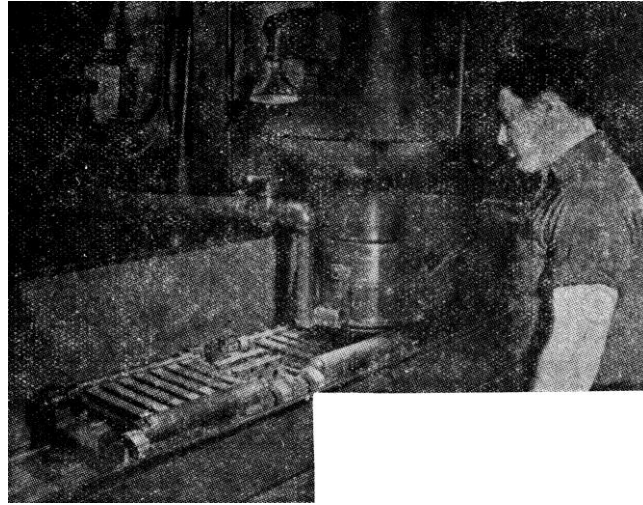


『治具』586 頁，第 3005 圖。

図 III-3-40 は副連桿側面の研削状況を示す写真で、アメリカにおけるスナップらしい。これなどはリストピン半径の段階区分があつてこそその光景と言える。

図 III-3-40 副連桿側面の研削状況

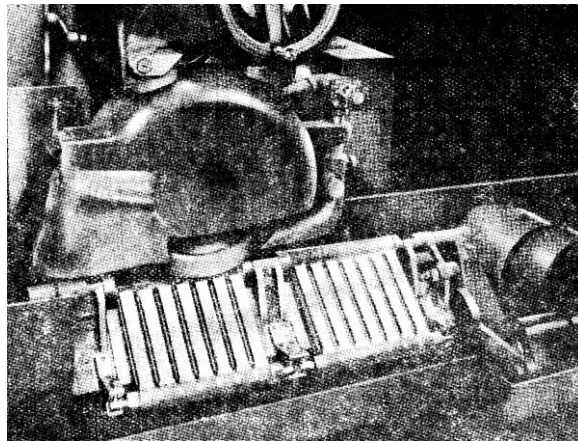
¹²³ このあたり、東・三枝「發動機工作法」132~135 頁，参照。



『治具』871頁，第6080圖。

図Ⅲ-3-41は副連桿端部の丸みを研削成形している様子である。これもまた，リストピン半径が段階区分されていたお蔭である。この治具は小形電動機によって自動的に一定角度，揺動せしめられた。

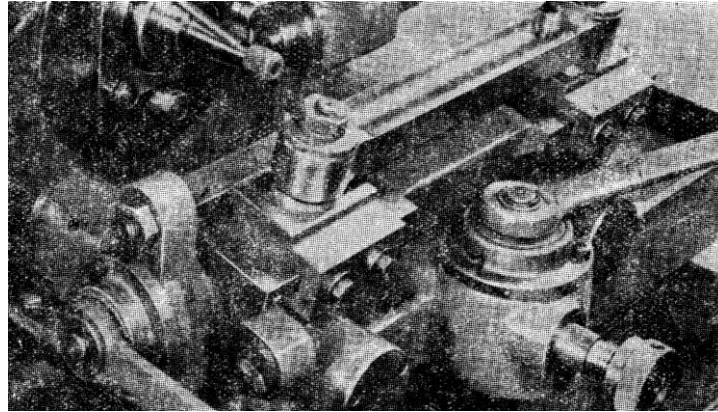
図Ⅲ-3-41 副連桿端部丸みの研削成形



『治具』884頁，第6100圖。

図Ⅲ-3-42は研削盤に取付けられた副連桿溝の内面を研削するための治具を示す。研削はワークをこの姿勢から90°左転させた後，実施された。研削液を用いる以上，溝を横向きにしたのは道理である。

図Ⅲ-3-42 研削盤に取付けられた副連桿溝の内面研削用治具



『治具』887頁，第6107圖。

副連桿には寸法公差のみならず単列当りに使用される個体相互間の重量バラツキについても厳しい基準が設定されていた。このため，工作の完了後，強度にさほど影響を及ぼさぬ箇所を肉を手持ちグラインダでわずかに削って重量合せを行う所作も常套であった。

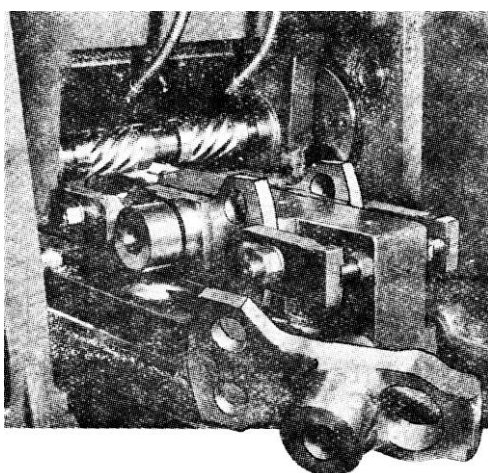
iii) クランク軸関係

星型航空発動機のクランク軸には組立式と一体式とがある。一体型大端部と呼応するのは無論，組立式クランク軸である。一体式であれ組立式であれ，この種のクランク軸も連桿と同様，鍛鋼粗形材からの手間暇かけた全面削り出しによって成形された。然しながら，それらは振動面を除けば主連桿大端部リストピン孔を巡るような設計ならびに工作上の繊細な配慮とは縁遠かったし，モノとして列型，V型発動機の対応物のように長大でもなかったから，その機械加工は大して見栄えのする工作とはならなかった。

図III-3-43には Wright *Cyclone* 発動機のクランク軸後部鍛造粗形材を2個並べ，その外周を横フライスにてヘリカル・カッタを用いて切削している状況が示される。材料は CrMo 鋼で，この加工は相当な重切削である。残念ながら，荒川が掲げたクランク軸関係の切削工程に係わる図はこの一葉のみ。ウェブに明けられた2つの大孔(1つだけ見えている)はチルトン式ダイナミック・ダンパのローラー孔である¹²⁴。

図III-3-43 Wright *Cyclone* 発動機のクランク軸後部鍛造粗形材外周の切削状況

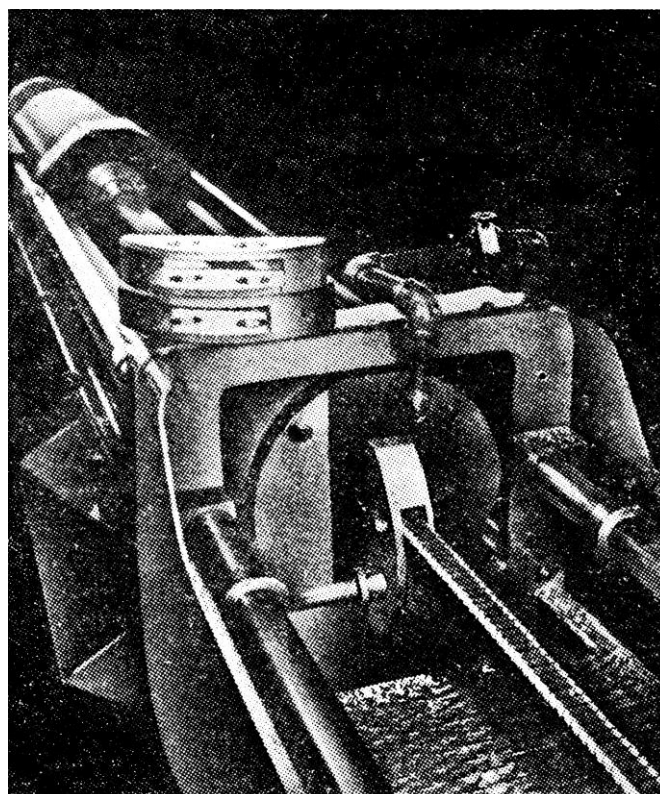
¹²⁴ ねじり振動対策としてのダイナミック・ダンパについても前掲拙稿，第三部にて詳しく論じられている。



『治具』650頁，第3137圖。

図Ⅲ-3-44は *Cyclone* 発動機のチルトン・ダンパ錘にクランクウェブを通すべき四角孔を水平型の油圧式ブローチ盤によって仕上げている状況を示す。

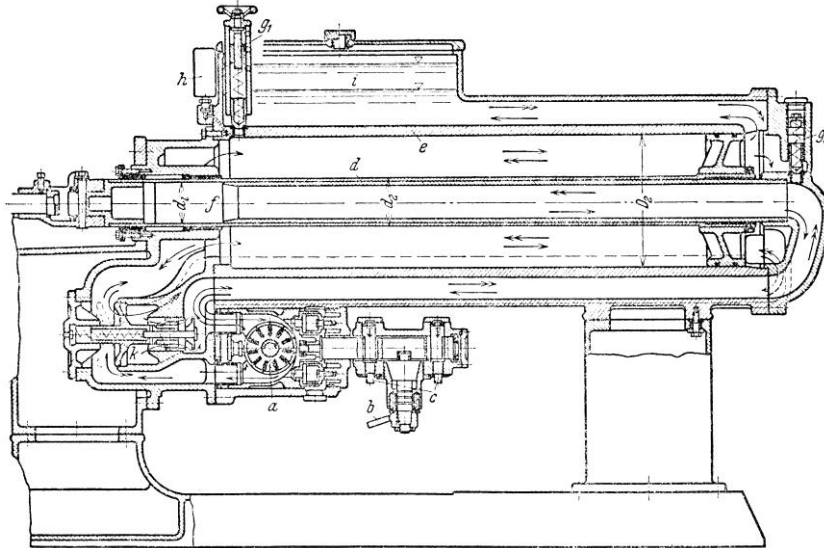
図Ⅲ-3-44 *Cyclone* 発動機のチルトン・ダンパ錘への四角孔ブローチ盤加工



笹木「米國に於ける航空發動機生産」362頁，第2圖。

お国違いではあるが、図Ⅲ-3-45としてOswald Forst(ドイツ→Forst Technologie GmbH. & Co. KG)製油圧式ブローチ盤の駆動部の断面図を掲げておく。

図Ⅲ-3-45 Oswald Forst 製油圧式ブローチ盤の駆動部

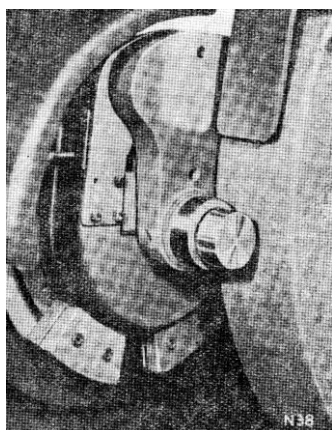


a: Enor 式ポンプ, *b*: 逆転機構, *c*: 作業用・戻り用油量調節機構, *d*: ピストン棒, *e*: 作業工程シリンダ, *f*: 戻り行程シリンダ, *g*₁: 作業工程用安全弁, *g*₂: 戻り行程用安全弁, *i*: 圧力計.

G., Schlesinger/森・若林・鈴木譯『工作機械』第一巻 講義編 I, 272 頁, 第 357 圖.

図Ⅲ-3-46は *Cyclone* 発動機のライヴァル, P&W *Wasp* 系発動機の後部クランク軸らしきモノのピン部外周を研削している状況のようである。もっとも, 当該発動機の機種については今のところ不明としておかざるを得ない。一般に航空発動機のクランク軸粗形材は型鍛造の生産性に対する配慮からウェブとカウンタウェイト(旧くは青銅製であった例も)とは別体で成形され, リベットによって接合されていた。図Ⅲ-3-46のワークはあえて一体成型した錘の内部にパック式ダイナミック・ダンパでも仕込まれているタイプではなかったかと推察される。クランクピンをセンターに据えるため, クランク・ジャーナルがオフセットされているのは当然である。

図Ⅲ-3-46 P&W *Wasp* 系発動機の後部クランク軸(?)のピン部外周研削状況



『治具』874頁，第6085圖(A).

図Ⅲ-3-47は1930年代末期のArmstrong Siddeley 複列星型発動機の後部クランクピン研削状況を示す。クランク軸芯のオフセットがより明確に観取されよう。このクランク軸は三菱航空機に対して技術供与が行われた当時のそれよりは幾分モダナイズされているが、大馬力化を控えて前後2個の主軸受(大径のころがり軸受)のみで支持されるクランク軸は次第に陳腐化し、中央軸受を持つ3軸受式の設計が主流となる趨勢は^{あらが}抗えぬところとなっていた。

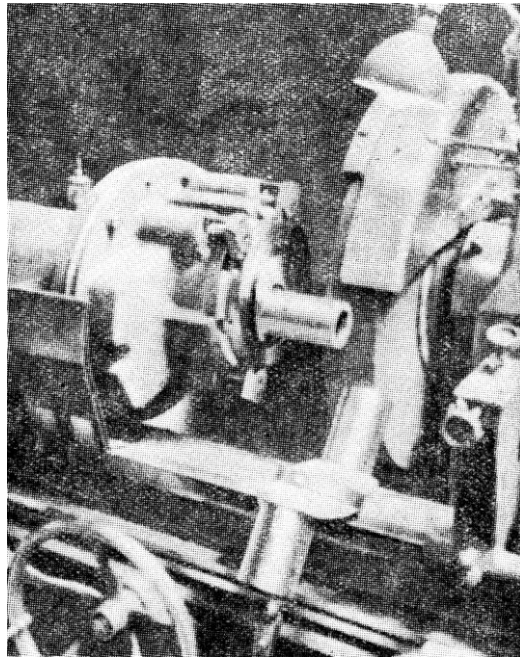
図Ⅲ-3-47 1930年代末期のArmstrong Siddeley 発動機後部クランクピン研削状況



『治具』874頁，第6085圖(B).

図Ⅲ-3-48は複列星型航空発動機の分割式クランク軸中央ピースを図Ⅲ-2-58のそれを簡略化したような取付具を用いて偏心保持し、その片側クランクピンを芯出しの上、研削にかけようとしている状況である。被研削部位はクランクピンであると同時に、その端部は組立に際してウェブに固くクランプされる箇所でもあるため(→図Ⅲ-3-50, -51)、高精度な仕上げが必須であった。当該クランク軸は複列Cyclone 発動機のモノである。手前に置かれた成品の中央円筒部が主軸受内輪を嵌入するところである。

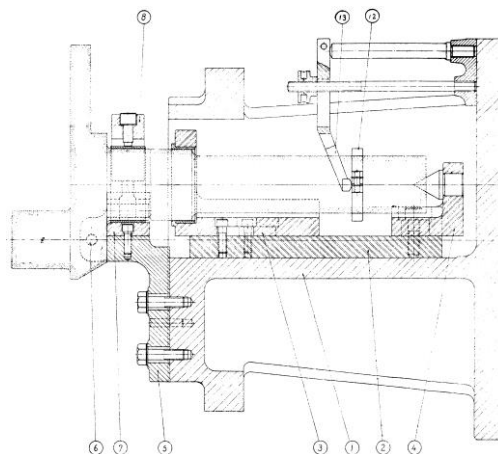
図Ⅲ-3-48 複列Cyclone 発動機クランク軸中央ピース，クランクピンの研削状況



『治具』 875 頁, 第 6085 圖(C).

図Ⅲ-3-49 は *Wasp* 系(?)星型発動機の前部クランクがクランクピンの研削のために円筒研削盤用ベルチャックにピンの軸をセンターにしてセットされている状況を示す. ベルチャック本体①は軽合金製, 台②は焼入・研削仕上した鋼で案内筒③とセンター④を担持する. ⑤はクランク軸取付台, ⑥は取付台の両側に位置し, クランクウェブを挟んで締付けるネジ, ⑦はブロック, ⑧は締板, ⑫は締付環, ⑬は締金である.

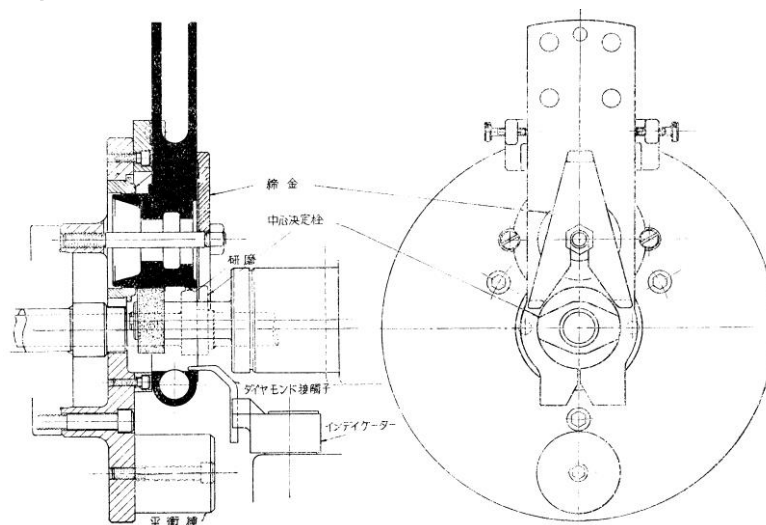
図Ⅲ-3-49 クランクピン円筒研削用ベルチャックにセットされた星型発動機の前部クランク



『治具』 873 頁, 第 6084 圖.

図Ⅲ-3-50 は旧世代の、つまりダイナミック・ダンパを持たぬ Wright 発動機の後部クランク軸におけるクランクピン收容孔の内面研削要領とこれに用いられた偏心取付治具を示す。側面図、黒塗りの下方に位置する○が結合ボルト孔である。クランクピンをただ1本のボルトで締め上げて固定するシンプルな結合法を単列は固より複列の、しかも極大出力の発動機にまで展開しおおせた事実は世界広しと 雖も Wright Aeronautical だけに帰属する功績であった。P&W や中島もこれに挑みはしたものの、いずれも失敗している。

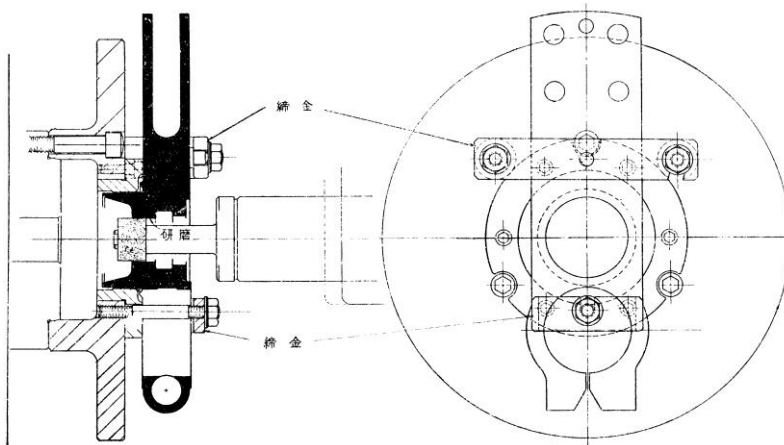
図Ⅲ-3-50 Wright 発動機後部クランク軸クランクピン收容孔の内面研削要領と治具



『治具』842 頁，第 6037 圖。

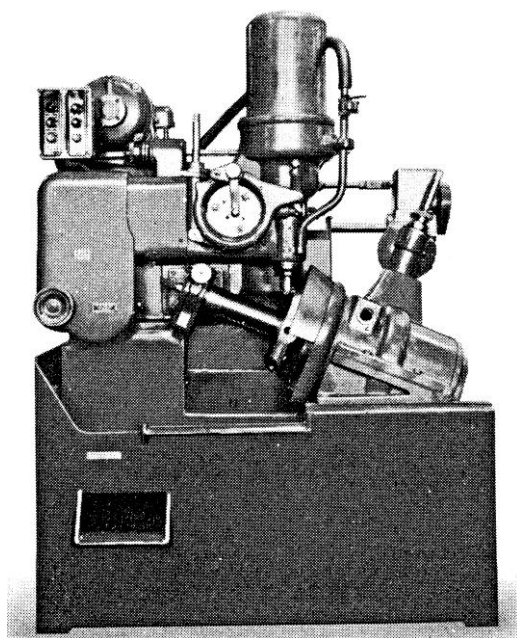
図Ⅲ-3-51 は同じワークを内面研削用治具にセットし、そのジャーナル内腔を研削している状況を示す。いささか見辛くはあるが、この工作も当然ながらプラネタリ研削である。当の内腔は補機駆動軸(中空軸で油道をも兼ねる)の挿入箇所となる。

図Ⅲ-3-51 同一ワーク，ジャーナル内腔の内面研削要領と治具



なお，クランク軸が組立型であり，その結合部に P&W の単列 *Wasp, Hornet* および三菱重工業，中島飛行機の複列発動機群におけるように軸スプラインが用いられる場合，そのシャフトとボスの切削に威力を発揮した工作機械はまたしても **Fellows** ギヤシェーパーであった．航空発動機用組立型クランク軸は空間的余裕を徹底的に排除したその設計のため，スプラインホブやブローチによる切削を受け付けなかったからである．また，**Fellows** は空冷星型発動機クランク軸ウェブ切削専用機，**Special Disking Machines** をも開発製造している(図Ⅲ-3-52)．

図Ⅲ-3-52 **Fellows** の空冷星型発動機クランク軸ウェブ切削専用機



from The Fellows Gear Shaper Company, *50Years of Progress 1896-1946*. p.34.

二番取りカッタ主軸搭載用 7A 型サドルと専用ベッドとベースとを合体した本機は空冷星型航空発動機クランク軸ウェブ両面の機械加工のために造られ，従前，用いられていた倣い加工に対して生産量を著しく増大させた．本機にはディスク型のカッタが用いられ，ウェブ両側面のプロフィールは特殊な切込-送りカムによって制御された．

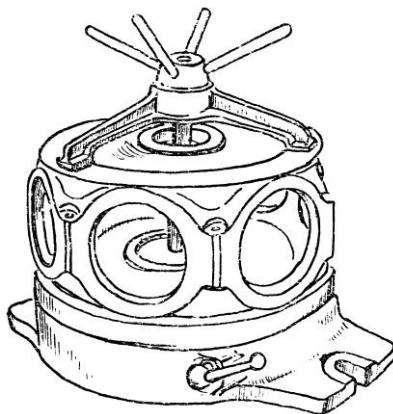
iv) クランク室関係

気筒群とクランク軸とを担持するクランク室は蓋と底が付いた大径の円筒で，外周には気筒のスカートを嵌める大孔を有し，主軸受を前後ないし前後と中央とに担持する．材料の大勢は Al 合金鋳物からジュラルミン鍛造品へと移行し，一部に鍛鋼(鋳鋼も?)が使用された．

星型発動機のクランク室は通常、前後いくつかの分割構造を採るが、複列のそれを一体鍛造でまとめ、前後主軸受を前後の蓋に担持させた例もある(Gnome-Rhone *Mistral Major*)。

図Ⅲ-3-53は単列星型発動機のクランク室らしきモノの気筒取付面フライス加工用治具へのセット状況を示す。単列星型発動機のクランク室設計は前後2つ割りとするのが普通である。本図は分割・接合線を描き忘れたため、誠に妙な図となっている。とまれ、材料・構造の如何を問わず、この切削は軽切削となる。

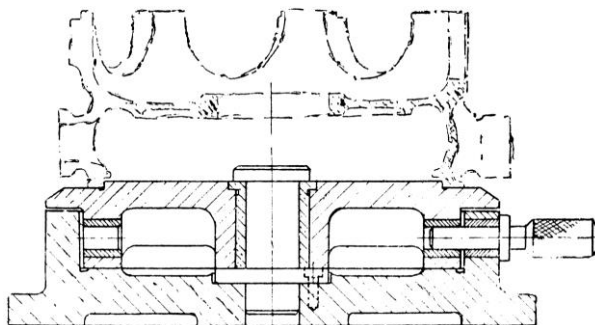
図Ⅲ-3-53 単列星型発動機クランク室の気筒取付面フライス加工用治具へのセット状況



『治具』651頁，第3139圖。

図Ⅲ-3-54は吸気分配室を持つ(恐らく機械式過給機付き複列)星型発動機の後部クランク室を吸気管取付面のフライス加工用治具へのセットした状況を示す。締金の類は描き込まれていない。この工作は気筒取付面のそれより一層、軽切削であり要求精度も低くて差支えない。

図Ⅲ-3-54 複列星型発動機後部クランク室の吸気管取付面フライス加工用治具への取付状況



『治具』653頁，第3146圖。

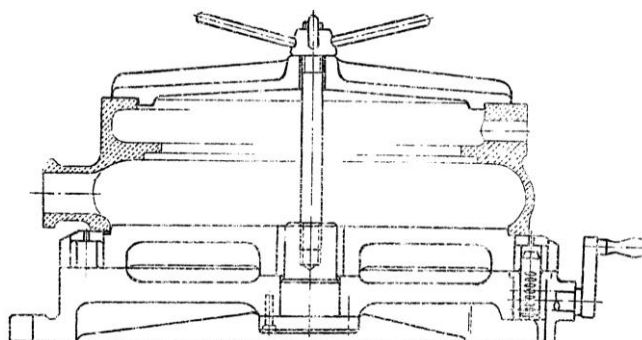
荒川によれば、図Ⅲ-3-54は図面だけ観れば手際良い治具設計の感を呈するが、実際には「甚だ拙い素人の設計」である。その真意は、治具製作の容易さに配慮すれば、右下に位置

する割出用ノックピンは割出板の回転軸に対して平行に設けられるべきであり、かくすればノックピン孔の工作はボール盤(ジグボーラとは表記されていない)を用いて容易かつ高精度に遂行可能となるのに引きかえ、このようにノックピンを割出板の軸の半径方向に持って来ればそのあたりの工作が著しく面倒になる点にあった。

これなど、不自由きわまる工作技術を前提にした、その限りにおいては誠にごもつともな説である。しかし、強度的に、それゆえ精度的にもノックピンは割出軸から遠くにある方が望ましく、かつ、軸平行の円筒ピンではなく半径方向に作用するくさび角 15° の割出ピンを用いて円周方向の位置決めを実施すればピンのガタの排除も可能となる。こちらの方が高精度加工や重切削には適した方法ではあった¹²⁵。

図Ⅲ-3-55 は割出軸と平行にラック&ピニオン式昇降装置付きノックピンを配し、ヨリ合理的となった治具設計例を示す。ただし、これもまだ最適からは程遠い設計の例として掲げられた図である。その短所の第1は、割出に際しては締金のハンドル付きナットを毎回、緩めねばならぬ点にあり、第2はワークの取付、取外しに際してナットを外し、締金を取除いた上でワークを締付棒(中央のスタッド)を超えるように持上げねばならぬ点にあった。

図Ⅲ-3-55 軸平行に割出ピンを配置した吸気管取付面フライス加工用治具設計例

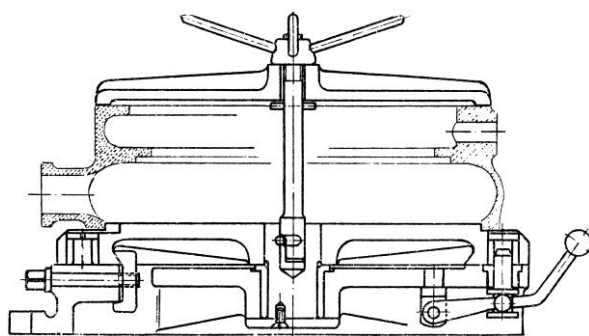


『治具』659頁，第3154圖。

それらの欠点を排除した治具設計例が図Ⅲ-3-56に示される。実のところ、これは前掲図Ⅲ-3-53の類似品である。ワークは締付機構により回転テーブル上に固定されているのでノックピン挿入孔の変更のみによる割出しは締付ナットを緩めずして可能となっている。また、締付棒自体にもその先端に図Ⅲ-3-3のそれと同様の迅速嵌脱機構が仕込まれており、これを活かして締付棒を一気に抜き出せばワーク入替時の所要リフトはごくわずかで済む。

図Ⅲ-3-56 2つの欠点が排除された吸気管取付面フライス加工用治具の設計例

¹²⁵ Scheibe und Waschinger/粕谷・石橋・水上訳『ジグ設計製作便覧』増補版，68~70頁，参照。

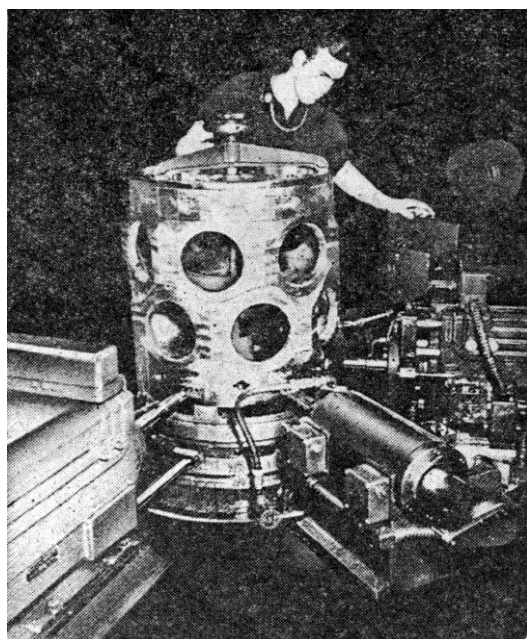


『治具』660頁，第3155圖。

気筒取付スタッドのネジ孔穿孔とタッピングは多軸ボール盤を以て行われた。その際に用いられたのは本図のそれを横軸化したようなシンプルな治具であった。周囲の余肉を丁寧削いで行くミリング加工には同工の、しかしヨリ重厚な治具が使用された¹²⁶。

Wright 社においては複列星型 14 気筒 *Cyclone* 発動機の鋼製クランク室に対してプッシュロッド孔 28 個を工作するため、Ex-Cell-o Corporation(米：1986 年，Textron Inc.[米]に買収)によって誂えられた図Ⅲ-3-57 のような油圧制御の多軸・多頭専用機が稼働していた。本機は 4 つの刃物台(上下 2 段の多軸ヘッド)を持ち、ワークが旋回割出されて来る順に各刃物台が前進しては逐次的工作を受持ち、加工を完了させた。

図Ⅲ-3-57 *Cyclone* クランク室プッシュロッド孔工作用 Ex-Cell-o 製多軸・多頭専用機



¹²⁶ 檀『第十一海軍航空廠発動機部(広海軍工廠航空機部発動機課)の記録』48，49 頁，参照。
National Automatic Tool Co., Inc.(米)製多軸ボール盤，改造小形堅フライスを使用。

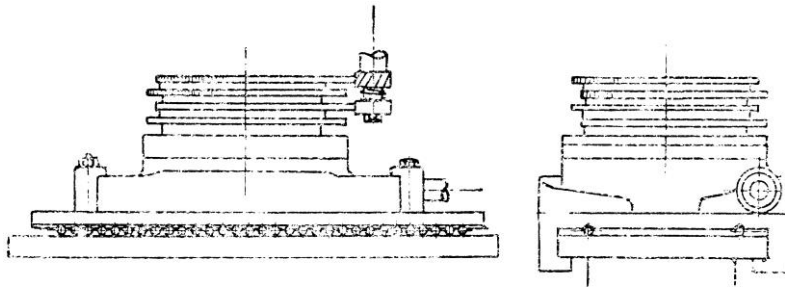
笹木「米國に於ける航空發動機生産」362頁，第1圖。

第1刃物台は穿孔，第2刃物台は中ぐり，第3刃物台は押込みブローチ加工，第4刃物台はリーマ通しを分担した。各刃物台は7気筒(上下2段ゆえ実際は14気筒)分の工作を終えれば自動停止し，第4刃物台での加工が終了した時点で機械は自動停止した。その生産性たるや単なる多軸ヘッドを1つ有するだけのボール盤に頼っていたわが国とは隔絶した水準にあったが，ワーク直接固定している治具だけはここまで観て来たようなシカケと原理的に同工であった。

v) 弁・動弁機構関係

荒川は弁・動弁機構関係についてもいくつかの情報を提示してくれている。図Ⅲ-3-58は吸排気カムリングを実物同様のプロファイルを持つマスター・カムを用いて倣い切削している状況を示す。マスターカムによるブランクの進退に対する摩擦抵抗を極小化するため，治具のスライドにはリニア・ボールベアリングが使用されている。マスターカムとローラーとの密着はワイヤーロープに吊られる錘によって担保された。

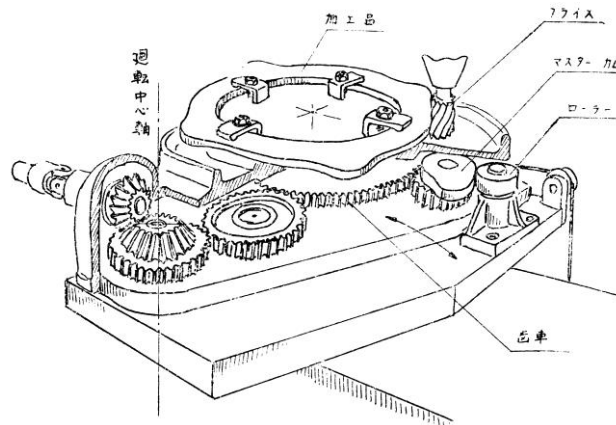
図Ⅲ-3-58 吸排気カムリングのマスター・カムによる倣い切削状況



『治具』675頁，第3179圖。

他方，図Ⅲ-3-59はマスターカムとブランクとの回転比を1:4として1枚のカムリングの4つの山を小さなマスターカムを用いて倣い切削しているところである。

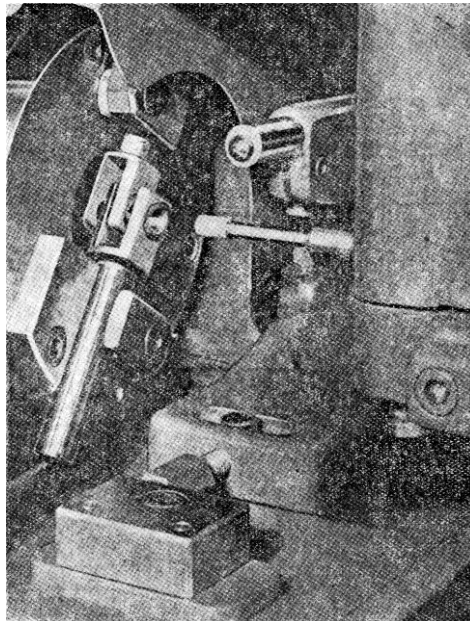
図Ⅲ-3-59 回転比を設定し，カムリングを小さなマスターカムを用いて倣い切削する状況



『治具』 681 頁, 第 3189 圖.

ここから先は弁・動弁機構の研削に係わる例ばかりとなる。図Ⅲ-3-60 はローラー・タペットのピン孔を内面研削する状況であり、能率に配慮して 2 本を同時に研削するための治具が用いられている。

図Ⅲ-3-60 ローラー・タペットのピン孔を 2 本同時に内面研削する治具とその使用状況

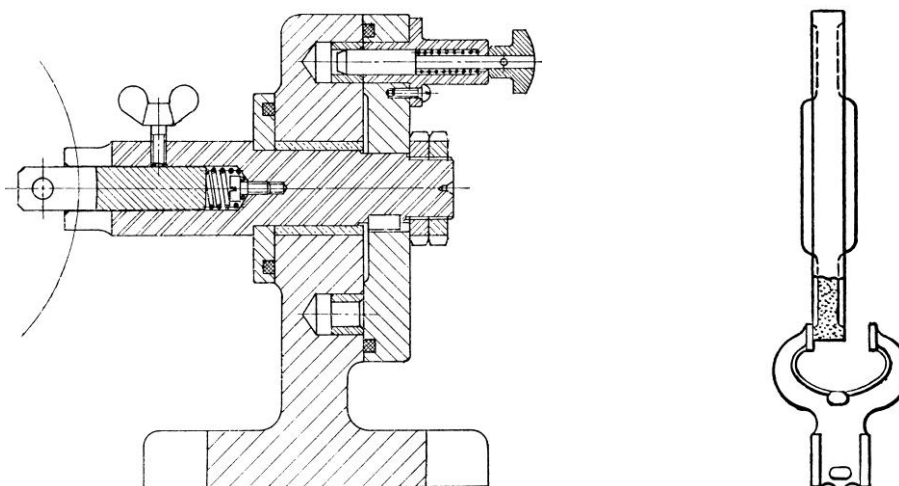


『治具』 841 頁, 第 6036 圖.

とは言え、ここに至るまでの工程はかなり面倒で、タペットの軸に対して割溝の左右振り分け精度を高めるため、切削された溝側面の研削仕上げはプランジカットではなく片側のみ行われ、反対側は反転させて研削したようである。航空発動機のタペットの件とは明記されておらぬが、かように煩瑣な、要求精度の高い工作であればそのように理解して差支えなからう。図Ⅲ-3-61 左がこれを行うための 180° 反転治具である。同右はサイドカットに用

いられる砥石の例で、ドレッシングやツルーイングを容易にするためリセスが与えられた砥石車とその使用状況を示す。ワークは勿論、限界ゲージである。

図III-3-61 サイドカット用 180° 反転治具と Recessed Wheel の使用例

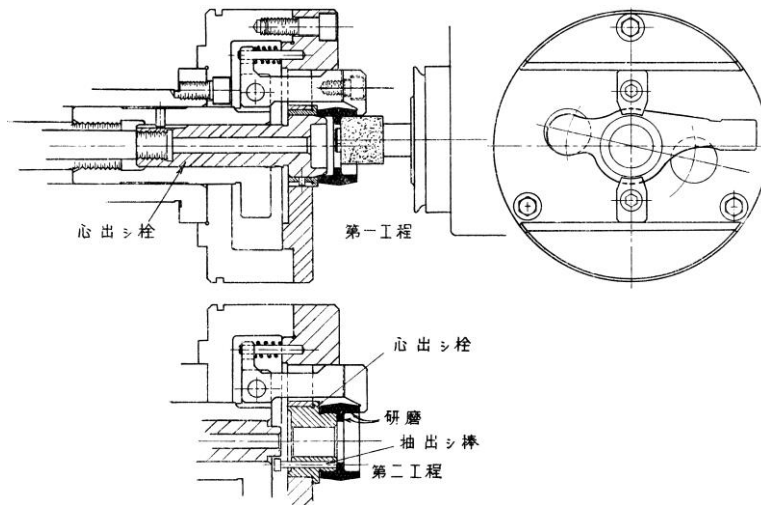


左；『治具』871頁，第6081圖。

右；*Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol.III p.453 Fig.8. (B).

図III-3-62はロッカーアーム軸受ボス内面研削用治具の使用状況を示す。吸排気弁に相当大きな挟み角を有し、かつ、プッシュロッドと弁棒とを同一平面内上に収め難い星型発動機においては開弁時、ロッカーアームには斜めにこじる相当大きな力が働く。このため、ロッカー軸受として1対の単列深溝玉軸受を振り分けに配する処方は比較的普通の設計に属した。孔の中ほどを占拠し内面研削を面倒にした稜はその位置決めのために設けられたストップ兼スペーサである。

図III-3-62 ロッカーアーム軸受ボスの内面研削用治具の使用状況

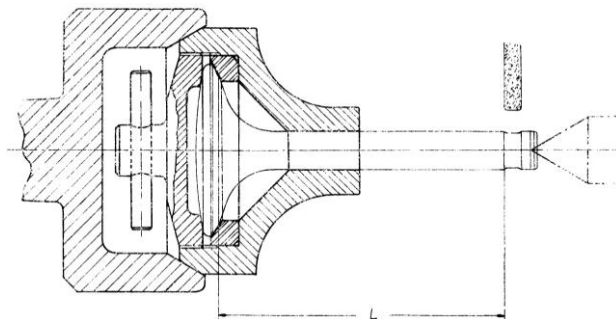


『治具』840頁，第6035圖。

工作手順は孔の片側を研削→心出し栓の取換え→ワークの裏返し→反対側研削となった。ロッカー軸受としてプシュを用いれば孔は1つの円筒として単純に工作されるだけであり、現にそのような設計も行われていた。ワーク側の工作を面倒にするころがり軸受があえて用いられたのはそれが油切れを生じた際の生存性において優るがゆえである。これはジェットエンジンの主軸受がころがり軸受ばかりとなっているのと同じ理由である。

図III-3-63は弁棒端部のスプリット・カラー嵌入溝のプランジカット用治具とその使用状況を示す。ここで重要なのは弁面から溝までの寸法 L である。ワークには焼きが入っているため、切削は行い難い。このワーク自体はそのプロフィール、即ち弁棒の相対的な太さと頭部の形状からしてNa冷却中空排気弁であり、その弁棒端にはステライト盛りが施されていた。Na冷却中空排気弁は粗形材の鍛造からスウェージング、機械加工から最終検査に及ぶ盤根錯節たる工程連鎖の産物であった¹²⁷。

図III-3-63 弁棒端スプリット・カラー嵌入溝のプランジカット用治具とその使用状況



『治具』826頁，第6012圖。

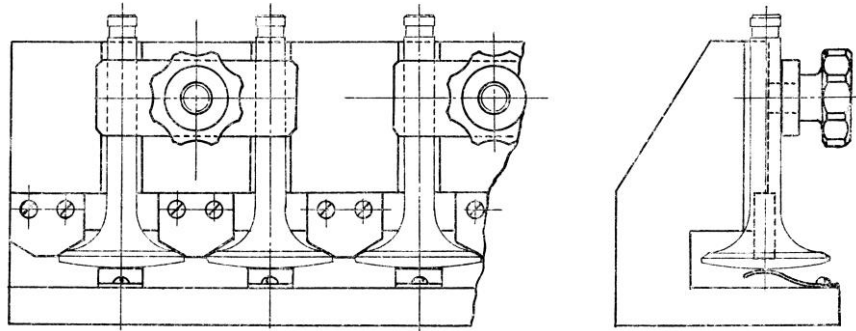
¹²⁷ Na冷却中空排気弁についても前掲拙稿，第III部にて詳しく論じておいた。

Lの文字はかすれが酷いためタッチアップした。

ワークの弁面傾斜角は 30° と読み取れる。これは当該排気弁が中島発動機用のそれであることを物語る数値である。国産 Na 冷却中空排気弁排気弁体の材料はおおむね Ni-Cr-W 鋼で推移したが、大戦末期、三菱重工業は安価な弁用鋼である Si-Cr 鋼への転換を成功させた。三菱は斯界の領袖で、中島に対しても相当数の Na 冷却中空排気弁を供給している。

図Ⅲ-3-64は同種の排気弁の高さを弁面を基準として揃えるための弁棒端平面研削用治具を示す。弁は下から板バネによって押し上げられ、基準となる座面に弁面を密着させられた上でクランプされる。

図Ⅲ-3-64 排気弁の高さを弁面を基準として揃えるための平面研削用治具

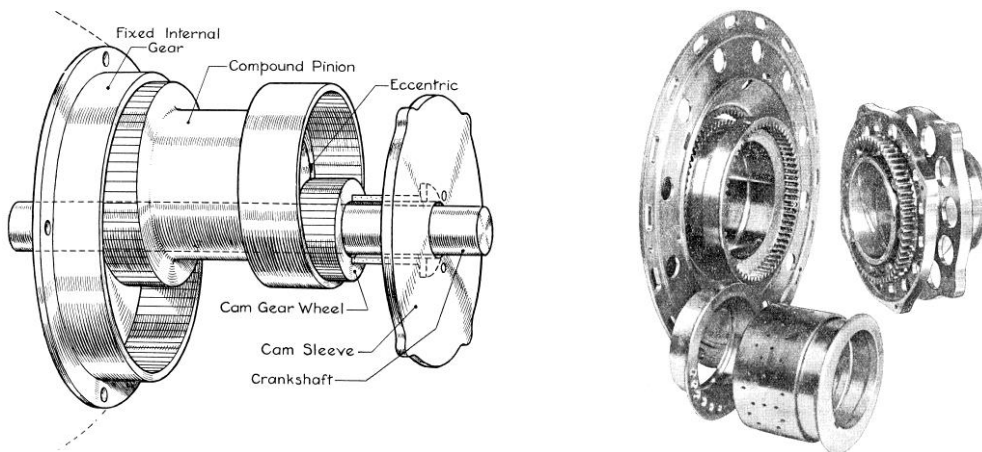


『治具』868頁、第6074圖。

vi) 航空発動機部品の製造における Fellows ギヤシェーパーの活躍

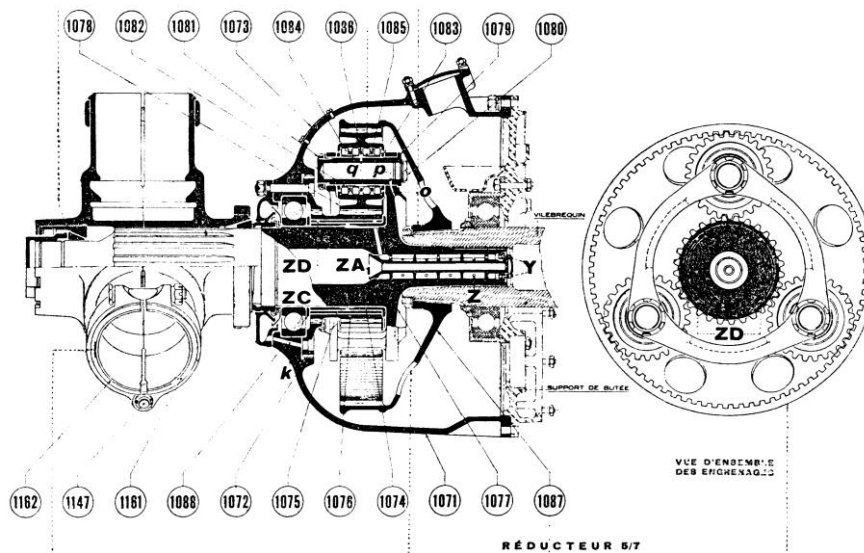
占有スペース・重量に係わる制約の厳しい航空発動機においては弁装置、プロペラ軸減速装置、機械式過給機の増速機構などに歯車が稠密に詰め込まれていた。とりわけ、先にその倣い加工について観た空冷星型発動機における吸排気カム駆動機構(図Ⅲ-3-65)や遊星平歯車式減速装置(図Ⅲ-3-66)には内歯車が、過給機増速機構には内歯車や2段重ねの歯車、行止まり箇所には切られた歯車(図Ⅲ-3-67)が多用された。また、行止まりのスプライン軸も至る所に配置されていた。これらはホブやラックカッタを以てしては絶対に切削不可能である。即ち、それらの歯切りこそは、またしても Fellows ギヤシェーパーないしその追従物の独壇場となっていた。

図Ⅲ-3-65 内歯車を2連用いた Bristol *Jupiter VII* (英)の吸排気カム機構



Air Ministry, *Bristol Jupiter Series VII&VII.F Aero Engines*. London, 1930, p.30 Fig.22, p.31 Fig.23.

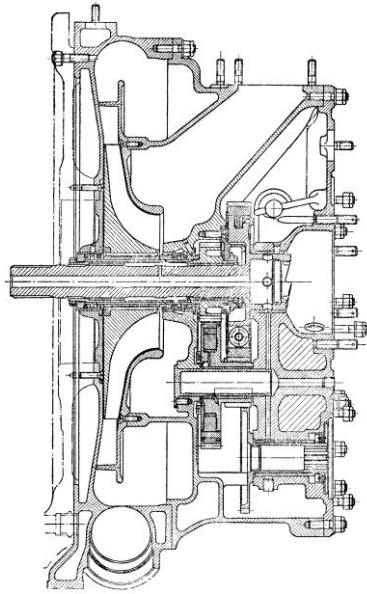
図III-3-66 Gnome-Rhone *Mistral Major* (フランス)の遊星平歯車式減速装置



富塚 清・大井上 博編『航空發動機』共立社 内燃機関工学講座 第9巻, 1935年, 288頁, 第256圖.

図III-3-66 において, 1087 がクランク軸直結の大径内歯車=ベルギヤでギヤシェーパによってしか歯切りできない. 1078 は減速室固定の太陽歯車, 1088 が遊星歯車で, これを担持するディスク 1077 がプロペラ軸に付属する.

図III-3-67 Wright *Cyclone F*の機械式1速過給機



富塚 清編『航空發動機』共立社，1943年，884頁，第16・109圖。

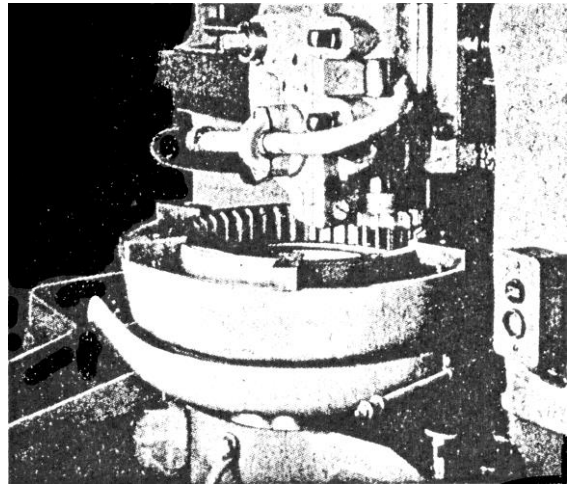
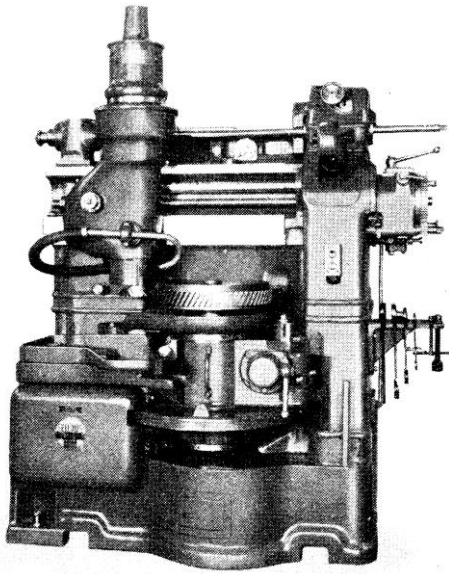
図III-3-67において，クランク軸後端に装入された延長軸のバネ緩衝装置入り大歯車によって駆動される中間軸のピニオンは大歯車と共通のハブに一体化されている．このピニオンもホブやラックカッタでは切れない．摩擦式連動装置を介して翼車軸のピニオンを駆動する中間軸大歯車はリングギヤを圧入ないし溶接したものであったか？

Fellows ギヤシェーパーは外歯車も内歯車も，それらが行止まりの場所にあっても，それゆえに段歯車も，それらがスパークであれヘリカルであれ，勿論，機械に固有の許容範囲内でピッチ円直径の大小に係わらず歯切りすることができる．つまり，それは円筒歯車に関する万能歯切り盤である．

図III-3-68は Fellows ギヤシェーパー，恐らく 6A3型と，これによって Allison V-1710 発動機減速装置のベルギヤ(ダイヤメトラル・ピッチ $3\frac{1}{2}$ in., 歯数 44, ピッチ円直径約 319.3mm)が粗～仕上歯切される状況を示す¹²⁸．

図III-3-68 Fellows 6A3型ギヤシェーパーによる Allison V-1710 発動機減速装置ベルギヤ歯切り

¹²⁸ このピニオンカッタには切削油を保持する形状が付与されていた．



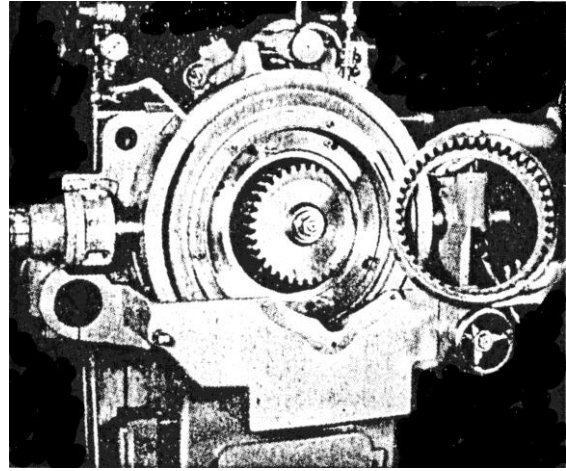
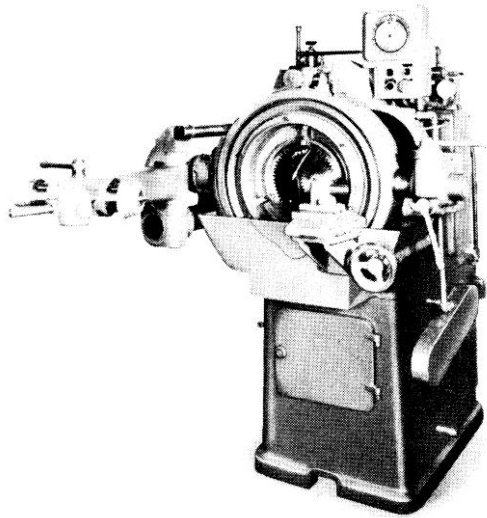
左 : from The Fellows Gear Shaper Company, *50 Years of Progress 1896-1946*. p.22.

右 : 和田 正譯「超モダン工場に於けるアリソン發動機の製作」『内燃機關邦訳文獻集』第 8 卷 第 6 號, 1940 年, 第 8 圖(*Machinery* 誌掲載 C.,O., Herb 論文の翻訳).

齒切りを終えたワークは Cima Machine and Tool Co.の齒車面取り機で齒筋の両端を面取りされた後, Fellows 13LS 型齒車ラップ盤にてパラフィン・カーボランダム粉末をラップ剤としてラッピングされ, 完成に至った(図Ⅲ-3-69)¹²⁹.

図Ⅲ-3-69 Fellows 13LS 型齒車ラップ盤と V-1710 發動機減速装置ベルギヤのラッピング

¹²⁹ ラップ剤については笹木「米國に於ける航空發動機生産」による. Cima 社は Costruzione Italiana Macchine Attrezzi(イタリア)のアメリカ法人か?



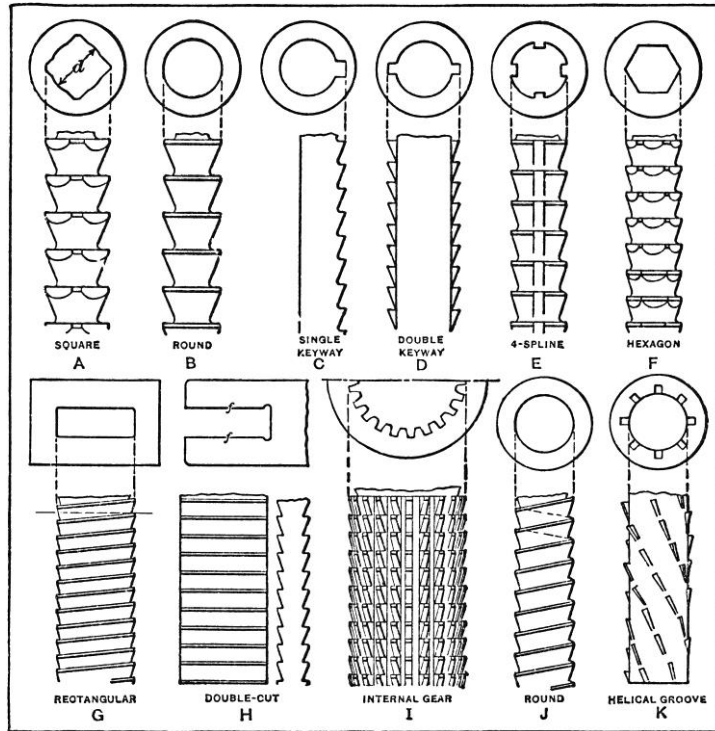
左 : from The Fellows Gear Shaper Company, *50Years of Progress 1896-1946*. p.28.

右 : 和田譯「超モダン工場に於けるアリソン發動機の製作」第 10 圖.

勿論、内歯車でもリングギヤとしてリム部だけ単体化されたそれであれば歯車用ブローチでの歯切りも可能であり、自動車用を先達としてアメリカあたりでは'30年代から図Ⅲ-3-70 I のようなブローチを用いる内歯車のブローチングが導入、実用化されていたようである¹³⁰.

図Ⅲ-3-70 '60年頃のアメリカで実用されていた様々なタイプの内面ブローチ

¹³⁰ '30年代から云々については山本『歯切仕事』273頁、参照。ただし、詳しい技術データはそこには不掲載。



Oberg and Jones, *Machinery's Handbook*. 17th., ed., p.1627 Fig.1¹³¹.

また、図Ⅲ-3-70 K のヘリカル・スプライン・ボス用ブローチは回しつつ引抜くモノで、その刃筋の数を増してやればヘリカルの内歯車が加工可能となる。この歯切り用ヘリカルブローチについても久しく実用化されてはいる。しかしながら、I も K の増強型も行止まりの場所には適用され得ない。

この他、ピニオンカッタをブランクに対して軸ねじれの姿勢にて噛み合わせるように送って行く **Skiving** や、ホブの歯筋を“総員回れ右”させ、切れ刃の高さをブローチのように段階付けた特殊工具を用いる **Super Skiving** といった内歯車工作法が実用されている。しかし、どれ一つとして行止まりの場所に適用され得るモノは無い¹³²。

転造にすれば、それさえあながち不可能とも言えまいし、焼結なら何でもやれそうなものではあるが、大きなワークについては管見の及ぶところではなく、冷間鍛造なども同断である。また、何によらず、ここに例示された技術史上、極めて重要であった内歯車に係わる実施例は絶無であろう。

¹³¹ この 2000 頁を超えるハンドブックに表面ブローチ(Surface or External Broach)についての画像情報は皆無である。

¹³² 菊地寿真・能勢喜博・薄出淳二・吉川啓祐・千原 悠「高精度・高能率な歯車加工を実現するスーパースカイピング盤 MSS300 の開発」『三菱重工技報』Vol.53 No.4, 2016 年, 参照。

航空発動機用ないしはそれにとって必需品であるプロペラ部品に関する欧米の工作事例の類は『内燃機関』や『内燃機関邦訳文献集』、『昭和十七年度版 内燃機関技術大観』といった同時代資料を繙けば、それこそ枚挙に暇無いほど散見される。換言すれば、以上に垣間見て来たのはあくまでも航空発動機部品機械加工の数コマに過ぎぬ。しかし、それらの資料からの総花的引用は控えざるを得まい。

それでも、大筋においては当時、航空発動機の生産現場が置かれていた今日の基準からすれば極度に不自由な状況とそれを克服するために凝らされた創意工夫、高い精度を要求された航空発動機部品一つ一つの工作に対して惜しげもなく注ぎ込まれていたエネルギーの有り様、自動車工業の発達が多軸・多頭専用機やブローチ盤など工作機械の進化を通じて航空工業の進化を支えていたアメリカの状況については幾分かなりとも実感して頂けたことであろう。

IV：工作機械の自動制御

1. 近代的工作機械の本質としての自動制御

V以降は戦前から戦後にかけての話題を扱うが、それに先立ち、工作機械における自動制御に係わる問題について取上げておきたい。とは言え、以下の挿話は出来合いの工作機械の制御を自動化するためにいかなる制御機器が考案されて来たのか、といった即物的年代記ではなく、工作機械なる存在の本質的要素としての自動制御に係わる歴史的考察であり、それゆえに戦前と戦後のみならず、近代的工作機械の発祥から現在までを貫くその本質に係わる物語となることを志向した試みである。

そもそも、近代的工作機械の跳躍点が Maudsley による機械的なネジ切りの創始にあったことは疑う余地の無い事実であろう。この発明のお蔭で、換え歯車の選択を通じて主軸と親ネジの回転比を様々な値に設定し、精確かつ多様なピッチのネジ切りが可能となったからである。

Maudsley のネジ切り旋盤は通常の語感からすれば自動制御機構を備えた機械とは形容し難かろうし、複数のカムセットを抱える多軸自動旋盤などと比べられれば自動制御とはますます縁遠い存在であったかのようにも見受けられる。しかし、さりとて手動制御で精確なネジを切れなどと命じられても、左様な所作は到底、常人のなし得る技ではなかろう。では、そこでは誰がヒトにはできかねる精密な工具制御をしてくれていたのか？ 勿論、それは旋盤自身である。正確に仕上げられたその親ネジと換え歯車である。

自動制御については「機械、装置などについて、そのある量を一定に保ったり、あるいは希望する変化を行わせたり、また各種の動作があらかじめ定められた順序に従って行われるよう、制御装置によって自動的に操作を行わせること」との解説が見出され、自動制御に係わる最古の例として古代エジプトの神殿扉開閉装置と古代中国の指南車とが、現存する最古の機器としては機械式時計の脱進機構とワットの遠心式调速機とがそれぞれ掲げられている¹³³。

してみれば、旋盤の主軸回転速度と送り速度とが機械仕掛けで「一定に保」たれた現象なども立派な自動制御と呼び得るのではないか？ それを言葉の濫用と難ずる向きでも、頭脳が正常なら簡単な機械的倣い機構におけるカムやテンプレートによる自動制御がプログラム制御の純機械的形態であり、自動ネジ切盤や多軸自動旋盤のカムによる制御も立派なプログラム制御でありシーケンス制御であった事実までは否定できまい。

NC化は熟練作業者が担っていた技術の技能的領域を大方代替し、また、そのことによって一時期、生産現場に多大の軋轢をもたらした。しかしながら、自動制御、機械任せは何もNC化を契機として始まったモノではなく、それは工作機械の本質に属する事柄であった。いかなる時代においても機械の保証加工精度や機械自身による制御能力の足らざる

¹³³ 『世界大百科事典』平凡社、1967年、「自動制御」の項、より。神殿の扉を開ける装置とワットのフライガバナについては拙稿「蒸気動力技術略史」図1-1、図1-17、参照。

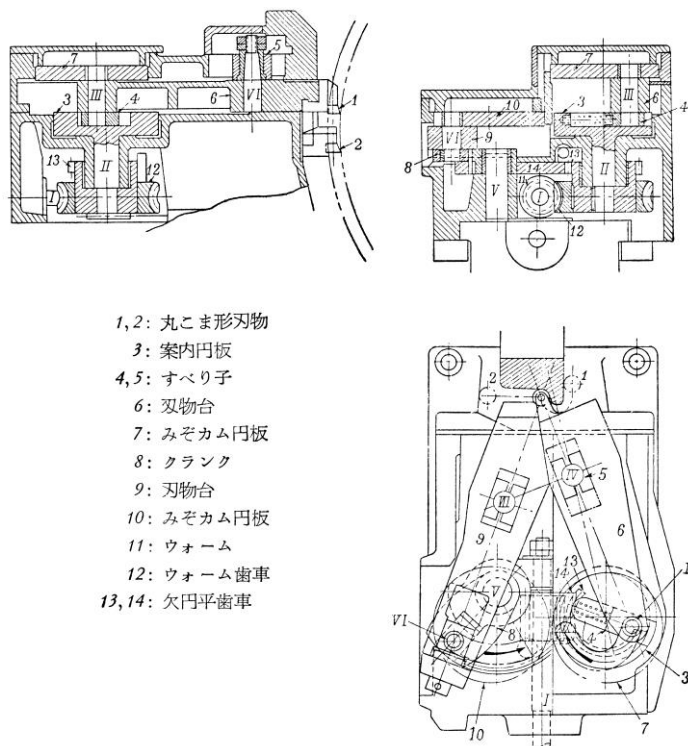
ところを補う，言い換えれば“copying principle”を跳ね返すほどの人智や感性が高度な熟練や技能と呼ばれる．ただそれだけのコトである¹³⁴．

2. 高度化した倣い機構による自動制御

1) 機械式倣い機構

純機械式の倣い機構については従前，様々な事例に出遭って来たところであるから同じような機構についての繰返しは控え，工夫の跡が顕著な例として機械式 2 分割倣い機構であるドイツの鉄道車両用タイヤ踏面の仕上げ旋削アタッチメント(図IV-2-1)についての紹介のみに止めたい．このアタッチメントは車輪旋盤の向う側往復台に取付けられるものであったようである．

図IV-2-1 ドイツの鉄道車両用タイヤ踏面の仕上げ旋削アタッチメント



- 1, 2: 丸こま形刃物
- 3: 案内円板
- 4, 5: すべり子
- 6: 双物合
- 7: みぞカム円板
- 8: クランク
- 9: 刃物合
- 10: みぞカム円板
- 11: ウォーム
- 12: ウォーム歯車
- 13, 14: 欠円平歯車

日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』日本機械学会，1957年，290頁，第2・1図．

若干，見やすく処理した¹³⁵．

¹³⁴ 小林 昭『これからの工学・技術者に求められるもの』養賢堂，1992年，第8章，同『「モノづくり」の哲学』工業調査会，1992年，第6~8章，参照．

¹³⁵ 本図は Carl Heinz Stau, *Nachformeinrichtungen für Drehbänke*. Berlin et. al., 1954, S.9 Abb.8 の簡略版である．時期的にドイツとすべきか西ドイツとすべきか，刊行年のみからは判断出来ないため，本文では単にドイツとした．

右下図をメインにフランジの旋削について説明すれば、送り動力は手動らしく、動力は横送り用ハンドル軸 *I* からウォーム 11 を経てウォームギヤ 12 に伝えられ、12 は案内円盤軸 *II* を回す。案内軸上の案内円盤 3 の表面にはスライダ 4 を収容する直線溝が彫られている。スライダ端に立つピン *III* は静止案内円盤 7 の曲線溝にガイドされ、溝内を摺動しつつ矢印のように旋回せしめられる。これによって刃物台 6 は摺動支点 *IV* の回りに摺動・旋回せしめられ、円すい台の形をした工具 1 は一点鎖線の軌跡を描きつつ回転し、フランジ部を旋削した。この動作が終れば、ハンドルを逆転して刃物台 6 を復位させた。なお、左上図、丸こま形刃物 1 を担持する刃物台 6 の摺動支点 *VII* は誤りで、正しくは *IV* でなければならない。

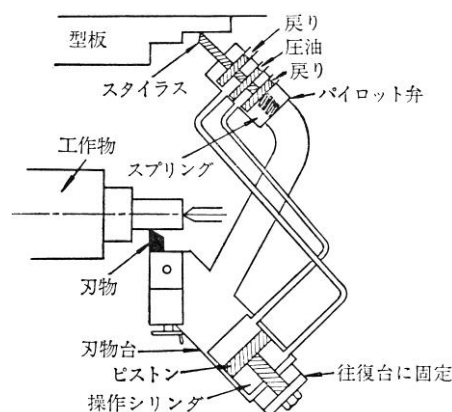
右上図により踏面の旋削について説明すれば、ウォームギヤのハブに付属するセグメント歯車 13 はクランク軸 *V* に取付けられたセグメント歯車 14 と噛合ってクランク 8 を回転させ、クランク上に摺動支持されたクランクピン *VI* は静止案内円盤 10 の曲線溝にガイドされつつ矢印のように旋回せしめられた。これにより刃物台 9 は摺動支点 *VII* の回りに摺動・旋回し、工具 2 は一点鎖線上を回転し、踏面部を旋削した。刃物台 9 も横送り用ハンドルの逆転により復位させられた。

フランジや踏面形状の変更が要請される場合には 2 枚の静止案内円盤を所定の溝形状を有するモノへと交換することになる。手前側往復台においては専用バイトを用いた粗旋削が手動制御によって行われていたのであろう。

2) 油圧式倣い機構

純機械式から一段と進化した倣い機構に油圧式倣い機構があり、その典型は油圧サーボの応用形態である。図IV-2-2 においてパイロット弁に収められているのがサーボピストンであり、ピストンとあるのが作動ピストンである。両者の有効断面積の差によってパスカルの原理に則って力が増幅される。

図IV-2-2 油圧サーボ機構による旋盤の倣い装置

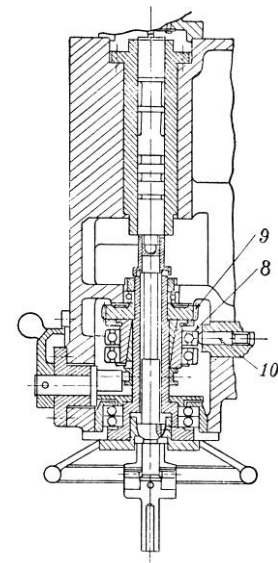
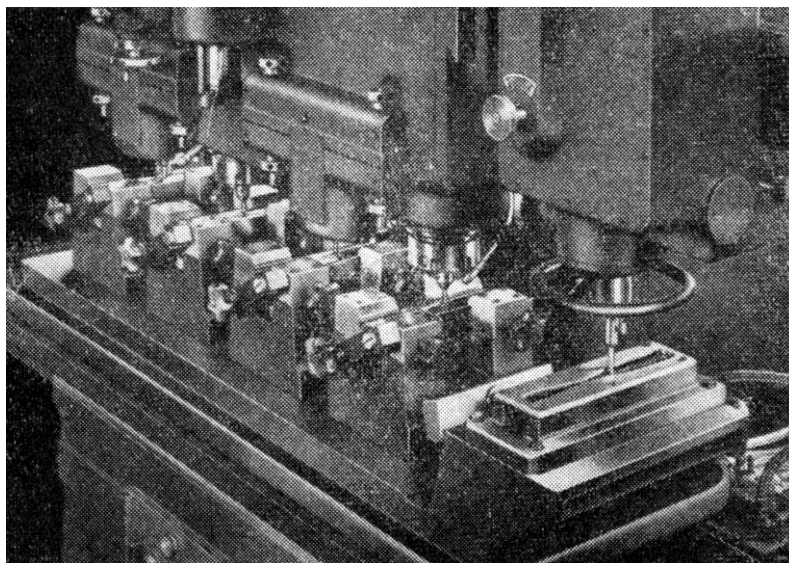


機械製作法研究会『最新 機械製作』262 頁，第 15・1 図(若干，修正)。

図の位置ではギヤポンプからの圧油はパイロット弁内に進入できない状態にある。往復台が左に送られ、スタイラスがテンプレートの段差に乗り上げればサーボピストンが変位してポートが開かれ、圧油は作動ピストンの右側へと進入する。この時、作動ピストンは往復台に固定されているため動けず、操作シリンダと一体化されている刃物台の方が後退せしめられる。刃物台はパイロット弁を伴って後退し、その行程はサーボピストンが再び圧油の進入ポートを閉塞するまで続く。この油圧サーボ機構は構造単純で応答性、増力機能にも優れるが、漏洩や摩擦、混入空気による影響を排除し難く、高い工作ならびに組立精度が求められる。油圧サーボ式倣い旋盤が苦手としたのは段差もテーパも無い直円筒部を正確に挽くことであった。また、油圧サーボ機構を応用した倣い装置にはパイロット弁ではなく絞り弁を用いるタイプのものも存在した¹³⁶。

フライス盤における油圧倣い機構の代表として件の *Cincinnati Hydro-Tel* に触れておこう。これは随分、複雑なシカケであった。図IV-2-3 左は *Hydro-Tel* によって輪郭倣い切削が行われている状況を、同右はそのトレーサ・ヘッドの構造を示す(数字は図IV-2-4 のそれに対応)。

図IV-2-3 *Cincinnati Hydro-Tel*による輪郭倣い切削状況とそのトレーサ・ヘッドの構造



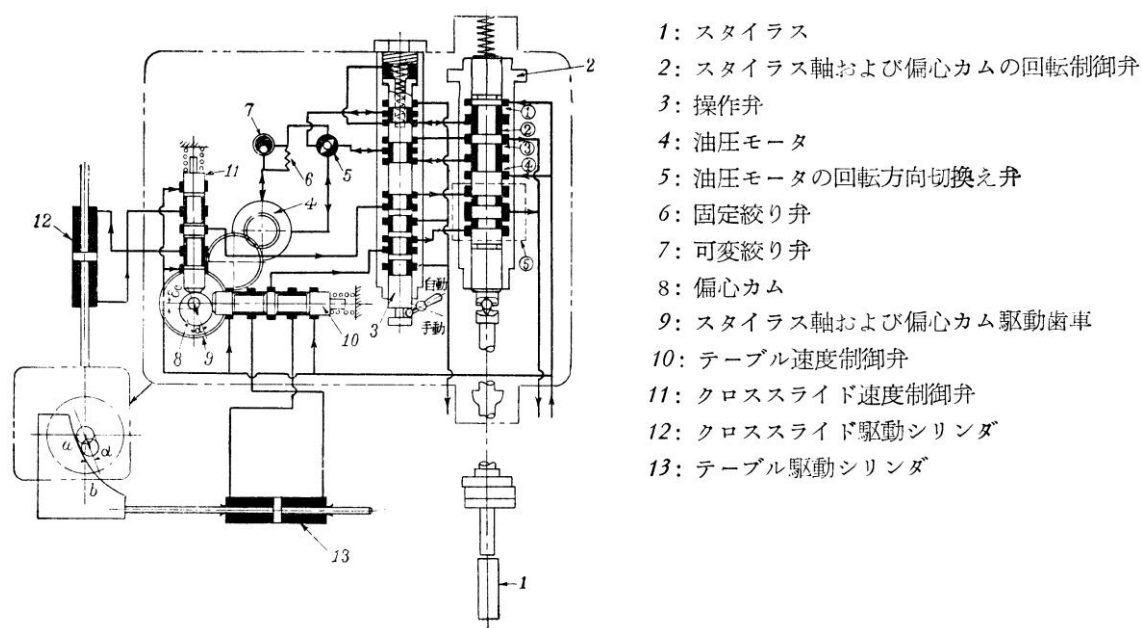
左：日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』298 頁，第 2・13 図。

右：同上書. 299 頁，第 2・16 図。

¹³⁶ 日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』293 頁，中田 孝『工作機械の自動制御』日刊工業新聞社 精密工学講座 I-8，1958 年，14~16 頁，参照。

その輪郭倣い機構の油圧回路は図IV-2-4 に示されている。左下の二点鎖線による小枠内に収められた機構を拡大表示したものが右上の大枠内の図である。つまり、本図は上に観たトレーサ・ヘッドに係わる油圧回路の説明図である。

図IV-2-4 Cincinnati *Hydro-Tel*における輪郭倣い機構の油圧回路



同上書, 298 頁, 第 2・14 図.

スタイラス 1 はスタイラス軸に対して ϵ_c だけ偏心している(クランク軸とクランクピンとの関係のように)。スタイラス軸上に設けられたエキセン 8 (偏心カム) も同一位相に同量偏心している。左下図, スタイラスがモデルの区間 a をなぞる間, モデルとワークを載せたテーブルの送りとクロススライドの送りとは 13 と 12 とによって既定の一樣な比に保たれており, この際, 2 は中立の位置にある。

スタイラスが区間 b に差しかかればスタイラス軸はエキセン 8 とともに左回りに旋回し始める。この微動旋回により 2 はバネを圧縮して上方に若干シフトせしめられ(継手部にヘリコイドでも仕込まれていたか?), 回路が開いて油圧モータ 4 が作動してスタイラス軸とエキセンの旋回をアシストする(油圧サーボが働く)。そして, スタイラス軸=エキセンの旋回量に比例する 10 の変位量に応じて 13 が作動し, テーブルは左へと余分に送られる。 b に差しかかった際の変位量が大きければこのシフト量も大きくなる(速度は一定)。このシフトによってスタイラス軸の旋回がリセットされれば 2 も中立の位置に復し, 油圧モータは停止する。勿論, 実際のモノゴトは微動の繰返しの形で進行する。

工具とワークとの関係はスタイラス軸とモデルとのそれに等しく, これによって倣い切削が実現する。スタイラス軸の旋回方向が反対ならバネの引伸ばしに始まる逆方向の連鎖

が展開される。なお、ワークに応じて送り速度を変えるには図IV-2-2 右のエキセン 8(実は深溝玉軸受)の偏心量を傾斜スリーブの引下げによって大きくする。8 の下の深溝玉軸受は 11 を突くエキセンのようである。

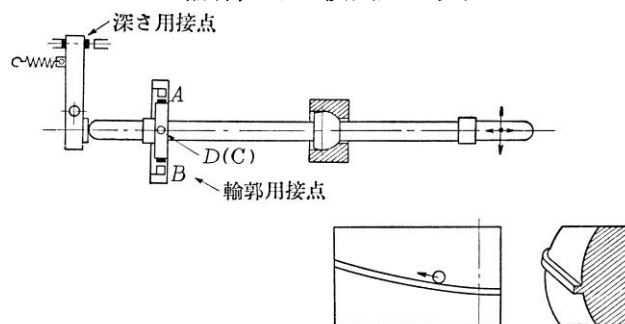
2) 電気式倣い機構

プレス(絞り)や鍛造用の型を彫るには輪郭に係わる型板と深さに係わる型板とを併用し、別個の倣い機構によってこれを並行して倣いつつ 1 台のフライス盤を 3 次元制御する方法があった。しかしながら、複雑な曲面構成の型を彫るには輪郭と深さとを有する 3 次元モデルを倣う 3 次元制御の型彫り盤を用いるのが捷徑であり、型彫り盤の代表であり、かつ、電氣的倣い機構を有する Keller machine はその典型であった。

アナログ時代の電氣的倣い機構は油圧式倣い旋盤におけるような比例制御ではなく、On-Off 制御の形態をなしており、この点では *Hydro-Tel* のそれに近い制御法となっていた。そして、Keller machine はこの On-Off 制御の典型例でもあった。そこではモデルを倣うスタイラスの動きに応じて電気接点が開閉され、工具台に送りを与える動力伝達機構の中に仕組まれた電磁クラッチと電磁ブレーキとが働き、工具とトレーサの微動が繰返された。工具の移動速度は最大か 0 かの二択で、中間速度はなかった。

また、型彫り盤には輪郭用と深さ用のスタイラス各 1 個を持つ物もあったが、Keller machine のスタイラスは 1 本で輪郭と深さとを検出する 3 次元スタイラスとなっていた(図 IV-2-5)。

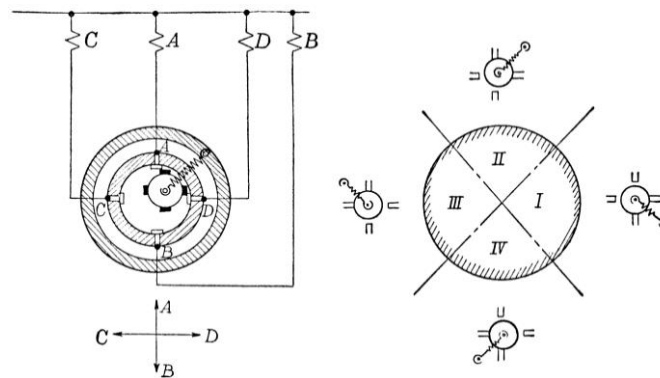
図IV-2-5 Keller machine の輪郭、深さ検出用 3 次元スタイラス



日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』302 頁，第 2・23 図。

なお、当初、Keller machine のトレーサ・ヘッドに組込まれていたスタイラスの輪郭用接点には複雑な曲面の集合体をなすマスターモデルの各象限に追随できるように手動でバネの作用方向を選択する仕組みが備えられていた(図IV-2-6)。

図IV-2-6 初期の Keller machine に採用されていたスタイラスの輪郭切換え法



同上書，302 頁，第 2・22 図.

その後，スタイラスの変位がある設定値を超えると接点と電磁クラッチとのつながぎを自動的に切換えて 360° 全象限にわたる自動追従が可能なシステムが提供された。

蛇足ながら，いかな Keller machine といえども，それによって彫られたプレス金型がそのまま使用に供されるようなワケには参らず，型の表面はタガネ，手持ちグラインダ，キサゲ，布ヤスリなどによる手仕上げを不可欠とした．型表面における表面うねりの除去は当然ながらプレス成品の美観や精度を向上させ，その表面粗度向上は型の疲労寿命延長に結び付く．手仕上げが省略可能なほどの表面仕上りを型彫り盤に期待することはできなかった。

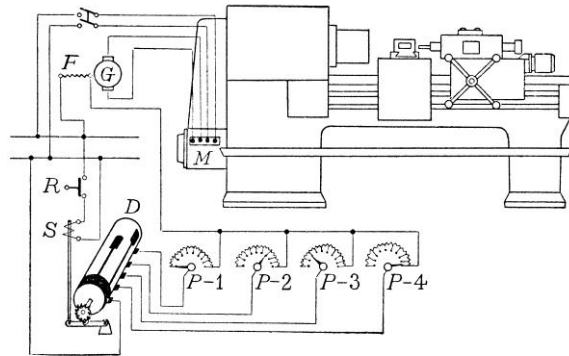
なお，自動制御には以上のような複雑なシステムをなすモノ以外に，定められた加工時間の経過後に機械を自動停止させる定時機構，設定された寸度への到達を感知して機械を停止させる自動定寸機構，設定された位置に主軸を移動させる自動定位機構などがあり，タイマーやリミットスイッチ，ストップを用いる方式から油圧サーボ機構によるものも存在した¹³⁷。

3. アナログ・プログラミングによる自動制御

アナログ・プログラミングによる工作機械の自動制御とは先に 5 軸自動旋盤について例示されたようなカムのセットによって一連の加工動作の内容を指定する手口に代えて，電氣的制御によって一連の工作順序と動作指示とを予め指定しておく，即ちプログラミングする手口である．図IV-3-1 にはタレット旋盤における主軸回転数および送り速度のプログラミングに係わる比較的単純な例が示されている．あるワークについての工作手順はドラムスイッチ *D* に反映されており，各工作ステップに対応する主軸回転数および送り速度のプログラミングは可変抵抗器 *P-1*~*P-4* の設定によって行われる。

図IV-3-1 タレット旋盤における送り速度のプログラミング

¹³⁷ 日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』302~311 頁，参照。



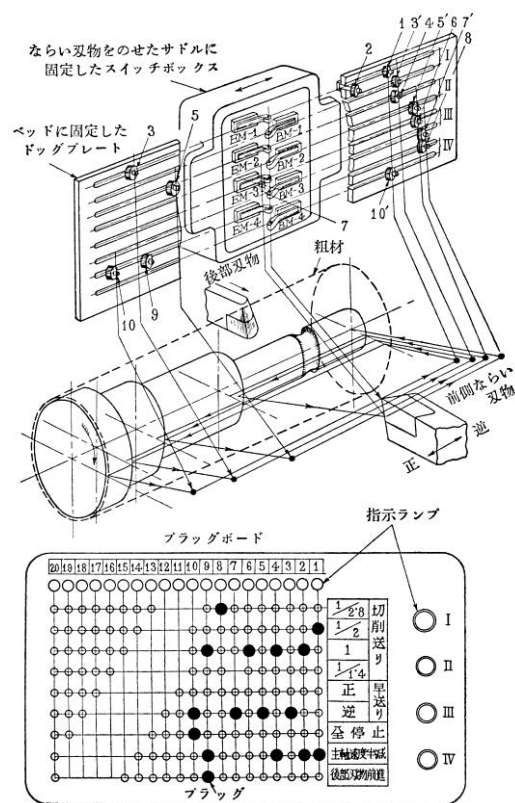
G: レオナード発電機, *F*: 同左界磁コイル, *M*: 直流電動機, *R*: スイッチ, *S*: 電磁石, *D*: ドラムスイッチ, *P*-1~4: ポテンショメータ

同上書, 311 頁, 第 2・37 図.

そこでは手動または自動でタレットが割出されるごとにスイッチ *R* が入って電磁石 *S* とラチェット機構によってドラムスイッチ *D* が割出され, 所定の速度に設定済みの可変抵抗器 *P*-1~*P*-4 がレオナード発電機 *G* の界磁 *F* につながれることにより主電動機 *M* および送りネジの回転速度を変化させる.

図IV-3-2 は油圧倣い旋盤における送り速度, 後部刃物台の動作, 主軸回転速度などを複数の倣いモデルの割出しとともに電磁油圧弁の操作や主電動機の極数変換を通じて行い, “多周期自動加工サイクル” を実現したアナログ・プログラミング装置(池貝鉄工所)を示す. この装置におけるプログラミングの要素はドッグプレート上の I~IV サイクル用ドッグとプラグボード (パッチパネル) に挿入されたプラグの各位置である.

図IV-3-2 油圧倣い旋盤の“多周期自動加工サイクル”用プログラミング装置(池貝鉄工所)



同上書，311頁，第2・38図。

ドッグプレート上の I ~ IV サイクル用ドッグが往復台と並走するスイッチボックス内のマイクロスイッチ群(往路 EM-1~4, 復路 BM-1~4)と接触すれば、従前の回路は消去され、電話交換機のそれのようなプラグボードの対応縦列に挿入されたプラグによって指定されている回路を上から順に^{たど}って各動作が実行された。

4. デジタル・プログラミングによる自動制御＝数値制御

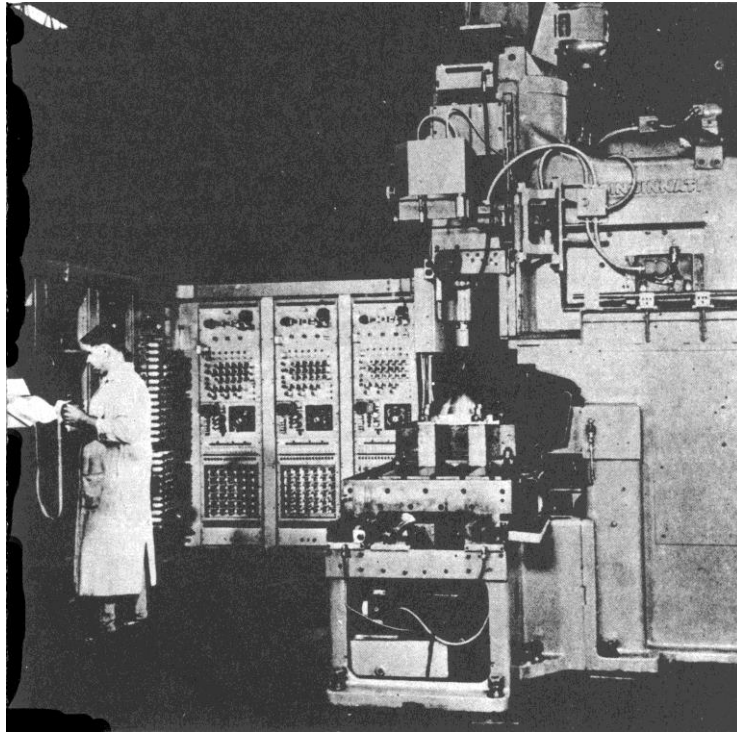
1) 数値制御の始まり

デジタル・プログラミングによる工作機械の数値制御(Numerical Control)は 1952 年 9 月に発表されたアメリカ、マサチューセッツ工科大学＝MIT の自動制御研究所で開発された Cincinnati Milacron の *Hydro-Tel* を改造した NC フライス盤を嚆矢とする。これがテープによる連続数値制御——工具経路ないし工具とワークとの相対位置を連続的に、自在にデジタル制御する技術の始まりとなった(図IV-4-1)¹³⁸。

図IV-4-1 MIT の試作 NC フライス盤

138 「SME LIBRARY 5 日本の工作機械を築いた人々 中田 孝氏」参照。

<http://www.sme-japan.org/library5.pdf>



Woodbury, *Studies in the History of Machine Tools*. History of the Milling Machine. p.101 Fig.49.

孔を明けられたテープないし一連のカードによる自動制御そのものはリヨンの麦わら帽子製造家、J.M., Jacquard(フランス)により 1801 年に発明されたジャカード織機に淵源を發しており、類似の発想は様々なオルゴールにもより単純化された形で体现されていた。20 世紀初頭には幅広のロール紙によって鍵盤を空圧操作する自動演奏ピアノも流行していた。

しかし、MIT の NC フライス盤は生のアナログ情報ではなく、数値化されたアナログ情報が記録されたテープを用いる連続的制御、即ち連続数値制御の原点をなす。その工作原理をエンドミルを用いてある曲線に沿った輪郭切削を行う場合について示すには、工具を導く経路の設定、工具を導くための数値情報の構成、数値情報の読取りと工具の誘導の 4 要素に区分してかかるのが妥当である。

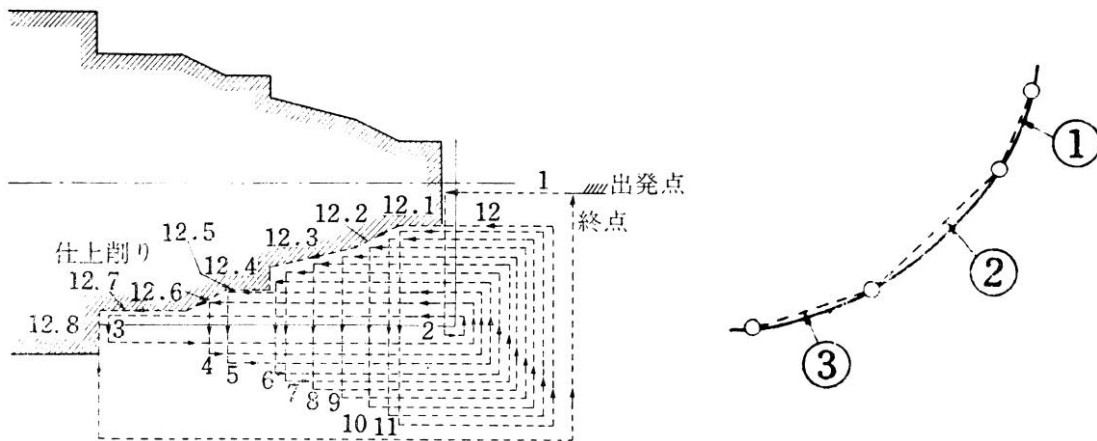
2) 数値制御の論理

i) 工具経路の設定とブロック化

先ず、工作図面に表示された曲線を輪郭切削するに際しては倣い加工におけるように工具の中心を当該曲線から工具半径だけ離れた曲線上にそのまま導くのではなく、この工具補正された曲線を許容誤差の範囲内で折れ線によって近似させ、工具をこの折れ線上に導くようにしてやる必要がある。各屈曲点(主要点)を繋ぐ線分をブロックと称し、各ブロック内で工具に単位時間当りに X, Y 方向への微小な単位運動を階段状に多数、繰返させて行けば、ブロック①, ②, ③……から成る折れ線を切削させることができる。当然ながら、プロ

ックが小さいほど、また、単位運動が小刻みであるほど、折れ線は図面上の曲線に近くなる。図IV-4-2には、2次元切削の例ではあるが、段付きテーパの旋削と、上に述べたような曲線輪郭削りの手順とが示されている。

図IV-4-2 段付きテーパ旋削と曲線輪郭削りの手順



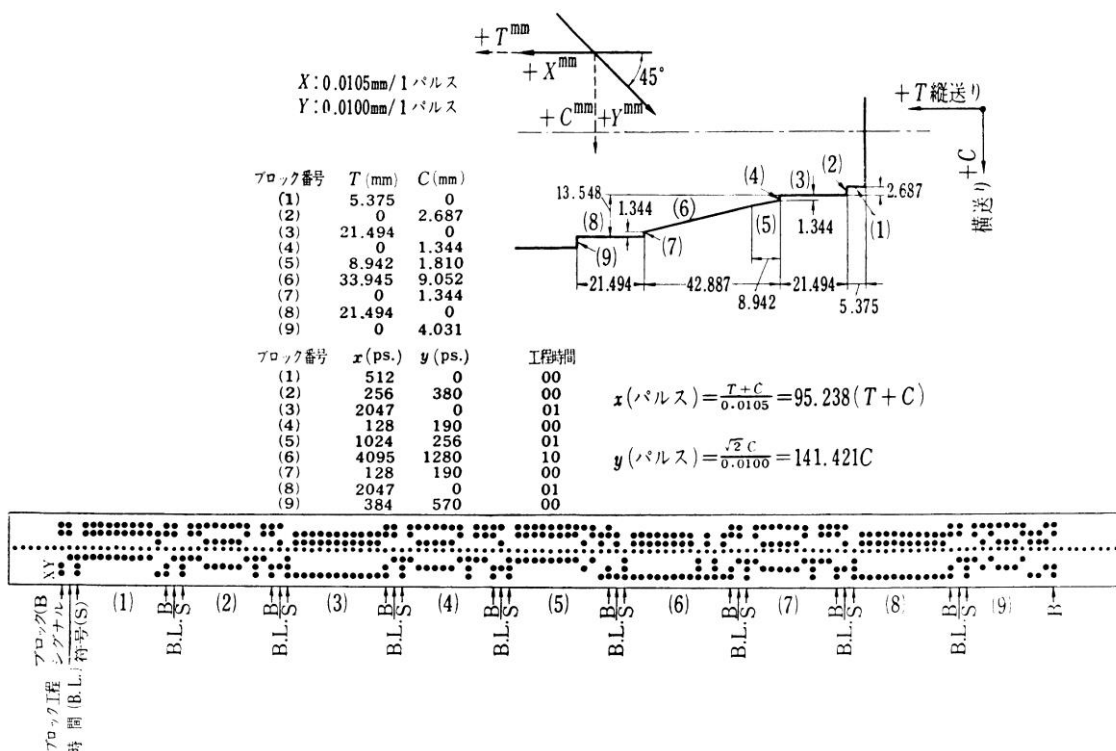
中田『工作機械の自動制御』55頁，図4・2.

ii) デジタル・プログラミング

次に、工具がたどるべきこの折れ線、ヨリ正しくは工具とワークとの相対位置を変化させるためのアナログ情報に即して、デジタル情報がプログラミングされなければならない。当初はテレタイプのテープが情報媒体としてしばしば利用された。このテープ上には各ブロックの境界を示すブロック記号と各ブロック内における X, Y (3次元なら更に Z) 方向の単位運動の単位時間当りパルス回数とそれらの方向(±)とを示す孔が二進数表示の恰好でパンチされるとともに、読取りエラーを検出するための誤り訂正符号が並行してパンチされた。二進数表記の原理については読取りとの係わりを扱う次項に譲る。

図IV-4-3には東京工業大学 精密工学研究所で試作された池貝鉄工所製油圧式倣い機改造 NC 旋盤に係わる2次元段付きテーパ工作図面とそのデジタル工作プログラム、実際の加工テープの対応関係が示されている。

図IV-4-3 段付きテーパ図面とデジタル工作プログラム，加工テープの対応関係



同上書，61 頁，図 4・9。

もともと、実際の 3 次元加工プログラムともなれば、これを作成し、テープ上にパンチするまでの工程には膨大な手数を要する。このため、NC は徒手空拳では到底、実用に供し得なかった。この隘路を打開したのが'55 年、アメリカ、イリノイ工科大学＝IIT において開発された自動プログラミング方式 APT である。複雑な 3 次元切削用のそれは APT-III として知られ、その進化形や競合品は世界で広く活躍した。それでも、スキンミラーや桁フライスによる高度な 3 次元切削には長大な、時に 1km を超えるようなテープが必要となる事態に変わりはなかった。

なお、同じく'55 年に Giddings & Lewis が発表し、市販に及んだ *Numericord System Milling Machine* は加工プログラム磁気テープ化の嚆矢であり、NC 工作機械を紙テープから解放し、その融通性を一挙に高める契機ともなった。更に、'75 年頃からは工作機械に CPU を組込んだ CNC 方式が開発され、機械側である程度のプログラミングが可能な対話型自動プログラミング・システムを備えた CNC 方式が NC 工作機械の主流となるとともに、CPU のクロック周波数はますます向上せしめられている。

iii) 数値情報の読取り

デジタル・プログラミングに続くのが工作機械側での数値情報読取りである。機械側とは言い条、当時の「電子頭脳部」は旋盤の傍らに立つテープ読取り機、メモリ、クロックおよびパルス分配器から成る旋盤本体よりもはるかにかさ高い装置の体をなしていた。

テープが MIT のクロック周波数 491.52kHz で作動する機械の読取り機にかけられれば、ブロック情報、誤り訂正符号、X, Y, Z 方向のパルス符号が読取られ、X, Y, Z 方向のパルス符号はそれぞれのレジスタ(メモリ)に記憶された。当初は実際の工作より読取に多くの時間を要したため、メモリを 2 系統使い、読取りと書き出しを交互に行わせることが必要であった。やがて光電式読取り装置が開発され、メモリは 1 系統で足りるようになる。

パルスの読取り、つまりテープに明けられた孔に過ぎぬパルス符号からそこで二進数表示されている数の電氣的パルスを現実^ニに発生させる仕組みは少々、込み入っており、これにはフリップ・フロップ(FF)回路を用いるパルス分配器が用いられる。FF はパルスを順番に振分けて行く、当時は勿論、真空管を用いた回路である。

FF が 3 つ繋がれたパルス分配器が 8 個 1 組のパルスを捌く^{さば}状況を例に取れば、1 番から 8 番までの 8 個のパルスが第 1 の FF に入力される時、1, 3, 5, 7 番のパルス 4 個はそこで処理されるべきものとして、2, 4, 6, 8 番のパルス 4 個は次位の FF に送られるべきパルスとして振分けられる。2, 4, 6, 8 番を受取った第 2 の FF は 2, 6 番の 2 個を自らの下に留め、4, 8 番を次位の FF へと送る。4, 8 番を受取った第 3 の FF は 4 番 1 個をそこに留め、8 番をブロック終了(=次のブロック開始)合図として出力することができる。

第 1 FF が自らに留めたパルス 1, 3, 5, 7 番から成る 4 つをゲート(高速スイッチング[真空管使用])回路 1、第 2 FF に留められた 2, 6 番の 2 つをゲート回路 2、第 3 FF に留められた 4 番 1 つをゲート回路 3 から出力できるようにしておき、これらのゲートを任意の組合せで開閉してやれば、テープに指示された所要パルス数を取り出すことができる。

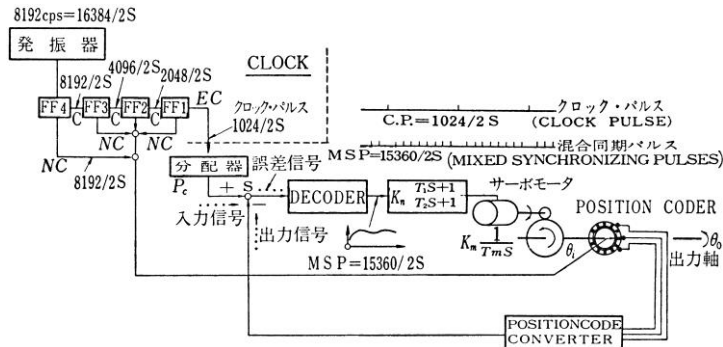
即ち、X 軸制御情報として単位時間当り 3 パルスが必要なら 1 番ゲートを閉鎖、2 番ゲートを開放、3 番ゲートを開放とすれば $0+2+1=3$ パルスが得られる。5 パルスが必要なら 1 番ゲート開放、2 番ゲート閉鎖、3 番ゲート開放で $4+0+1=5$ パルスを得る。ゲートの開放を 1、閉鎖を 0 で表せば、それぞれの状態は 101 および 011 と二進数表記される。515 個のパルスを発生させるには 10 個のゲートと FF とのペアが必要となり、各ゲートを 100000011 の形で開閉してやれば良い。タネを明かせば、この必要パルス数に対応するゲート開閉パターンがあらかじめテープ上に孔の有無という二進数になじむ形で記録されていたのであって、これの読取り結果に従ってパルス分配器が十進数で数えられる現実の電氣的パルスへと変換してくれたワケである。真空管がトランジスタへと代り、回路が IC 化されても以上の原理は不変である。

iv) デジタル・サーボ機構

最後に、X, Y (, Z)方向の各メモリから出力されるデジタル信号(ある数のパルス列)をアナログ変換して工具とワークとの相対的位置を変化させる DA コンバータ、ここではデジタル・サーボ機構が必要となる。MIT ではテーブルの送りに制御電圧に比例する速度で回るサーボモータを用いていたため、対応するパルス分配器から取出されるパルス数に応じた指令電圧を発生させるために真空管を並べた暗号^{デコード}解読機が用いられていた。また、ポジシ

オン・コーダと呼ばれる一種のロータリ・エンコーダによってサーボモータの回転数が直接、検出された(図IV-4-4).

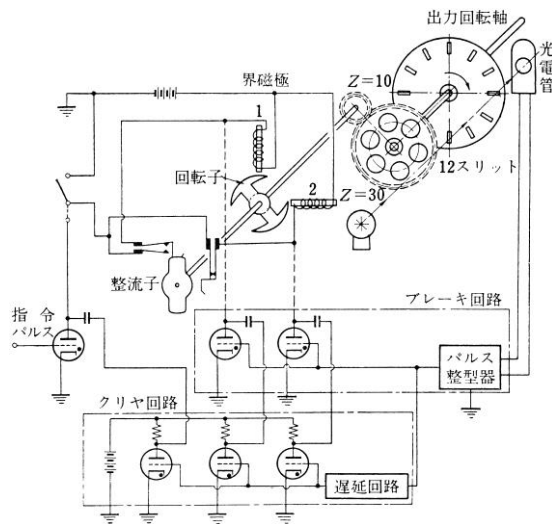
図IV-4-4 MIT NC フライス盤におけるデジタル・アナログ・フィードバック回路



同上書, 85 頁, 図 5・3.

なお, サーボ機構には当初, パルスに応じてある角度だけ回転するステッピング・モータの方がより汎用された. 図IV-4-5には東京工業大学 精密工学研究所で試作された NC 旋盤におけるステッピング・モータ式 DA コンバータが示されている.

図IV-4-5 東京工業大学 精密工学研究所試作 NC 旋盤のステッピング・モータ式 DA 変換機

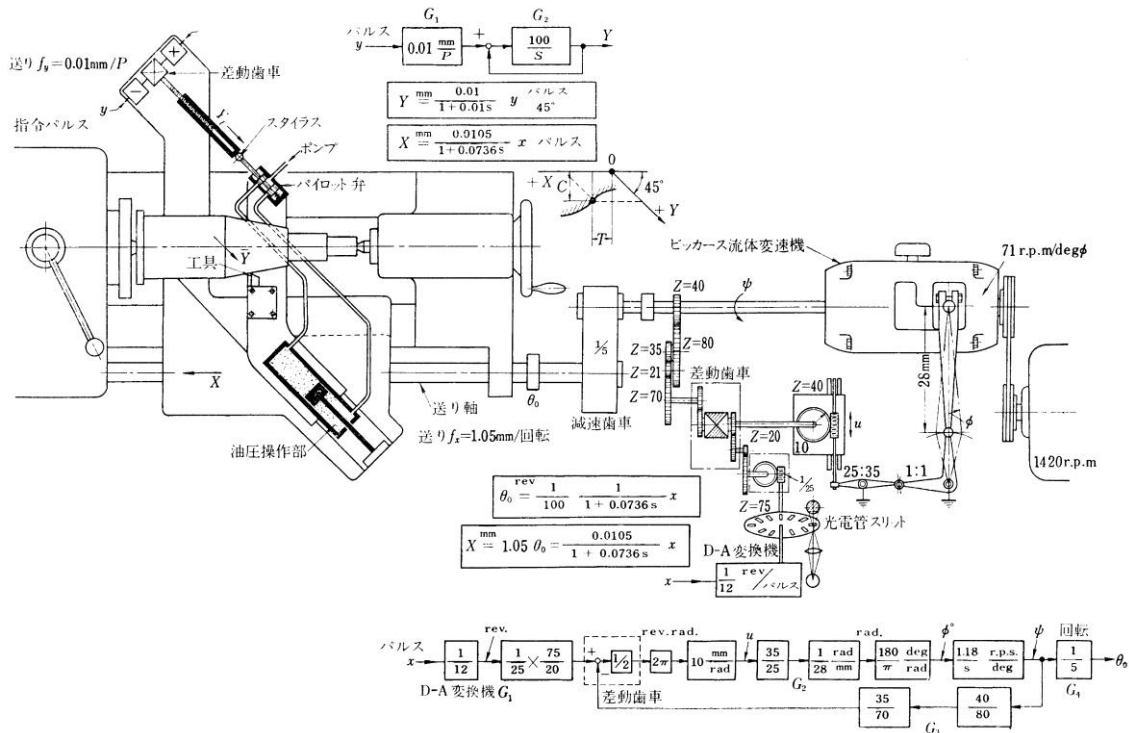


同上書, 72 頁, 図 4・16.

図IV-4-6には同じ NC 旋盤における工具制御系統が示されており, Y 方向(45° 切込み)はこの DA コンバータによって小さな送りネジを作動させ, その先端の移動を元々, 旋盤に付属する油圧做い機構のスタイラスに入力することにより, X 方向(送り)は同じ DA コンバー

タにより送りネジを回転させる油圧変速機の変速比を操作させることによって制御された
139.

図IV-4-6 同じNC旋盤の工具操作系統



同上書, 74 頁, 図 4・18, より.

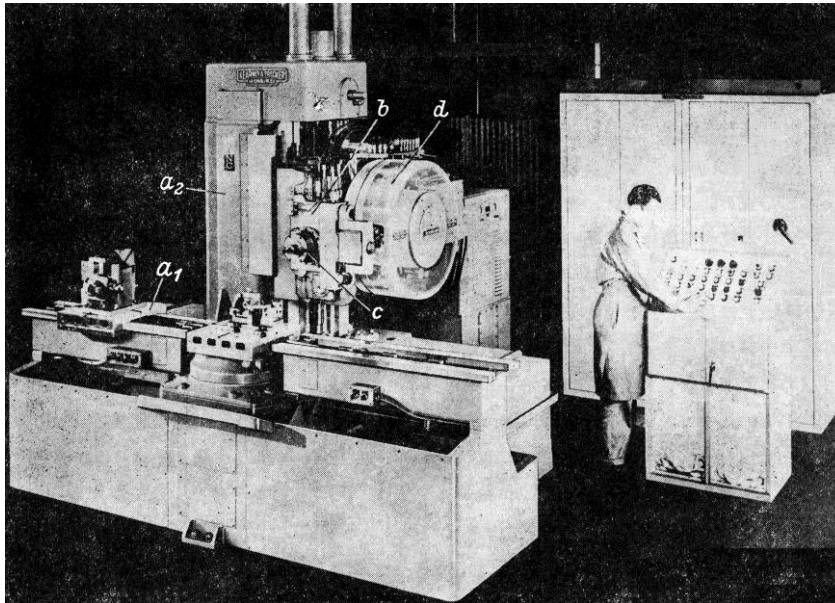
デジタル制御はパルスによって工具の先端位置を制御するのであるから、切れ刃の動きは階段状をなすはずである。しかし、サーボ機構の応答性に限界があるため、実際の軌跡は角が取れて波線状になる。これはNC化にとってはまことに好都合な現象である。

3) 数値制御工作機械の進化

139 この油圧変速機(Vickers Hydraulic Transmission)は日本海軍が整動機と呼んだ Williams-Janney Hydraulic Transmission と同工のモノで、可変式斜板^{スラッシュ・プレート}によって可変行程ポンプを駆動して油圧を発生させ、固定斜板を有する油圧モータでこれを回転動力に変えるシカケであった。その旋盤への適用は主軸の変速装置から始まっている。松田竹太郎『旋盤』共立社 實用機械工学講座・工作編, 1934年, 33~36(37)頁, 参照。松田は海軍造機少将。ウィリアムズ・ジャンネー整動機についてはまた、拙稿「日本海軍洋上艦艇における補機駆動タービンについて」, 「日本海軍における水圧伝動装置について」(→IRDB), 参照。

1959年にはKearney & Treckerから世界初のマシニングセンタが *Milwaukee-Matic* NC 中ぐりフライス盤として市販された(図IV-4-7). a_1 がテーブル, a_2 がコラム, b が主軸頭, c が主軸, d は30本の工具を収容するマガジンである.

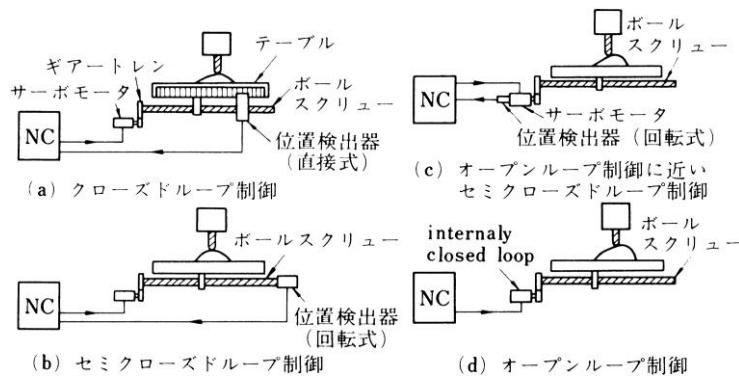
図IV-4-7 世界初の市販マシニングセンタ *Kearney & Trecker Milwaukee-Matic*



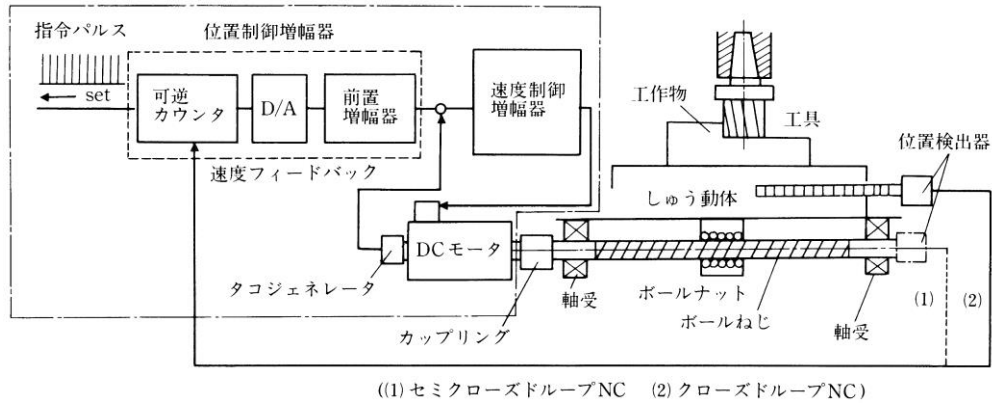
Koenigsberger・塩崎訳『工作機械の設計原理』220頁, 図292a.

なお, NCにおける送り駆動系の制御もエンコーダの進化と相まって順次, 東工大改造による池貝NC旋盤のような指令出しっ放しのオープンループ制御(d)=シーケンス制御からMIT試作機のようなセミクローズドループ制御(b, c), クローズドループ制御(a)といった検出機能付きの制御システム, 即ちフィードバック制御へと進化した(図IV-4-8). 今や, 高精度のCNC工作機械は例外なくクローズドループ制御, 廉価版のそれはセミクローズドループ制御となっている(図IV-4-9).

図IV-4-8 NC送り駆動系の制御方式



図IV-4-9 NC 送り駆動系の構成



日本工作機械工業会『工作機械の設計学(基礎編)』141頁，図3.7.11.

なお，工作機械における送り駆動系はボールねじの直接駆動を制御容易な DC サーボモータから高度な電子制御機能を従えた AC サーボモータへと置換える格好で進化を遂げた。しかし，近年においてはリニアモータによる一層シンプルな駆動方式がその適用範囲を拡げている。

140 日本工作機械工業会『工作機械の設計学(基礎編)』1998年，140頁，図3.7.10も類似。

V：戦後の日本自動車工業

1. いすゞ自動車鶴見製造所におけるエンジン機械加工(1955年頃)

このあたりで時間を戦後世界に戻し、物語を再開しよう。大出力ピストン航空発動機は絶滅に到り、量産型高速内燃機関は自動車機関を先端とするようになった。本邦自動車工業における設備合理化・近代化は1950年勃発の朝鮮戦争による好景気をバネとして始まった。アメリカ視察団の派遣、中ぐり盤、ホーニング盤、多刃自動旋盤、専用研削盤など新鋭機械の輸入、マイクロスイッチによる自動定寸機構採用と機械の多台持ちが実施に移された。同じくして専用工作機械開発が活発化し、油空圧式・電気式シーケンス制御の実用化、工程間のマテハン合理化・自動化も推進された¹⁴¹。

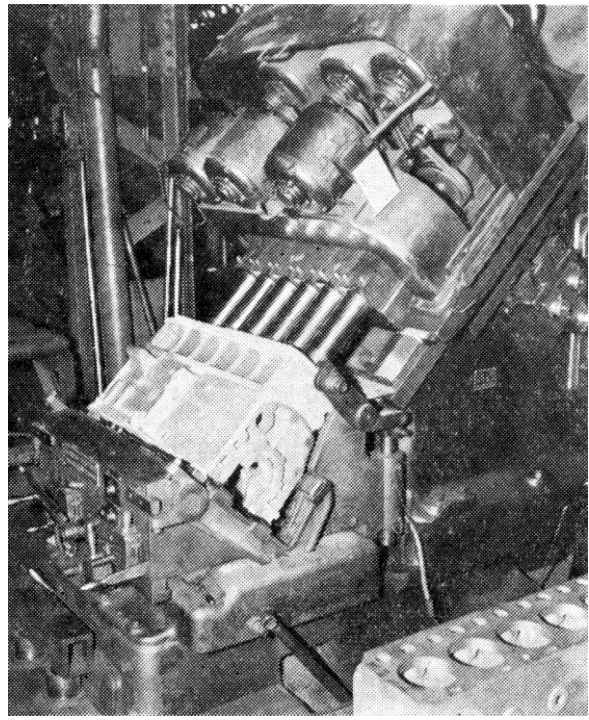
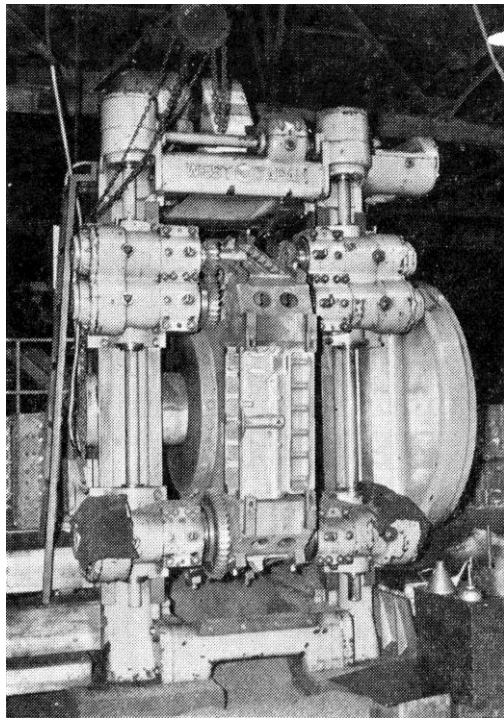
わが国の自動車機関製造技術体系における戦後復興の出発点はすでに観た'30年代、そしてトランスファ・マシン導入以前のアメリカのそれと似たりよったりの水準にあった。以下では復興期直後のいすゞ自動車鶴見製造所におけるエンジン機械加工についての資料紹介を試みる¹⁴²。

図V-1-1左はロータリ・フライスによるシリンダブロック上下面の同時切削、同右は6気筒のボアを同時に精密中ぐりしている様子を示す。と言っても、後者はウェットライナが挿入されるシリンダブロックであるから、実際に切削される面積は僅少であった。

図V-1-1 ドラム型ロータリ・フライス盤と6軸精密中ぐり盤によるシリンダブロック加工

¹⁴¹ 復興期から高度成長期にかけての自動車生産技術体系の推移全般については石原康正「生産技術」(社)自動車技術会『日本の自動車技術20年史』1969年、第19章、参照。

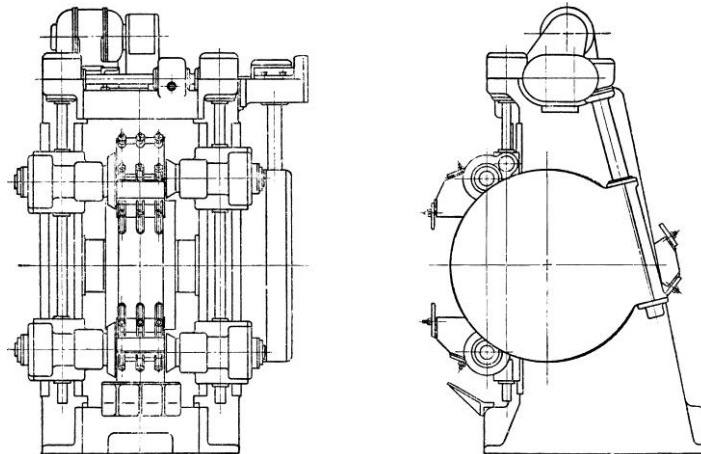
¹⁴² 渡部一郎他『内燃機関』下巻、「第15章 工作法」による。その資料提供はいすゞ自動車(株)鶴見製造所長 葛野恒次郎によるものである。



日本機械学会 内燃機関部門委員会『内燃機関』下巻， 609 頁， 第 15・101， 102 図.

ちなみに，このロータリ・フライス盤は西日本重工業(→三菱造船)広島精機製作所が製造していた系列の製品であった(図 V-1-2)¹⁴³.

図 V-1-2 西日本重工業広島精機製作所製ドラム型ロータリ・フライス盤の例

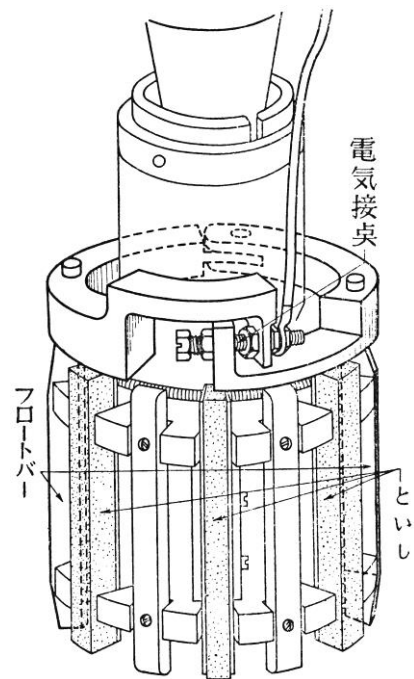
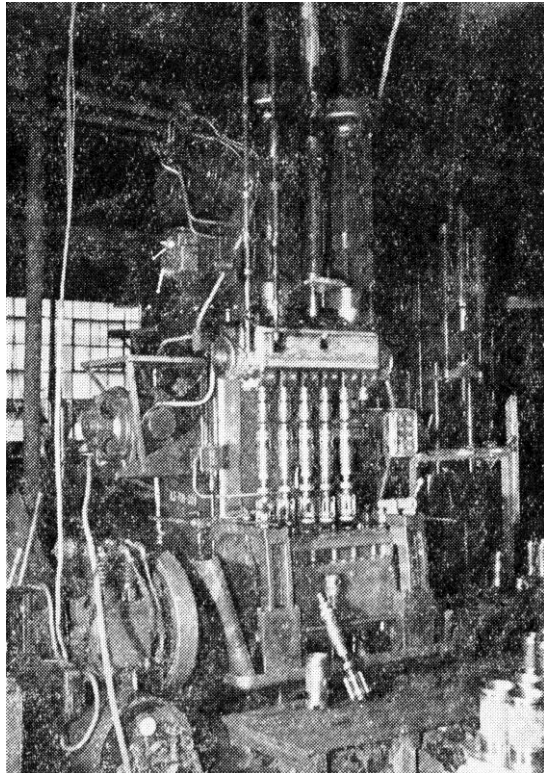


坪井 靖「量産機械および工程」『材料および特殊工作法』山海堂熱機関体系 第 12 巻， 所収. 334 頁， 図 9・33.

¹⁴³ 豊田工機製のシリンダブロック前後面同時切削用ドラム型ロータリ・フライス盤については日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』286~287 頁， 参照.

戦後の技術革新の一つはリミットスイッチによる自動定寸装置の導入であった。図V-1-3のホーニング盤においてはホーンとともに拡張するフロートバーがスイッチを働かせ、所定寸法への到達を教え、機械の運動が制御された。

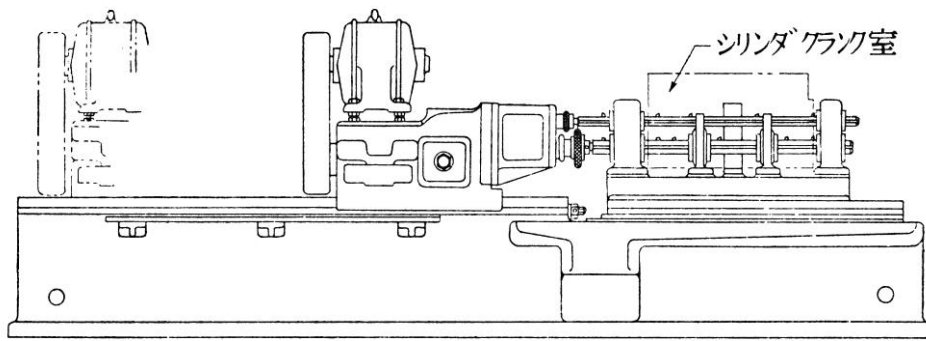
図V-1-3 シリンダライナ・ホーニングマシンと自動定寸装置付きホーニングヘッド



日本機械学会 内燃機関部門委員会『内燃機関』下巻，611頁，第15・106，107図。

自動車機関におけるクランクケースないしシリンダブロックへの主軸受孔，カム軸軸受孔の中ぐりは，'50年代のわが国においても相変わらずラインボーリング・マシンによっていた。図V-1-4はまさに自動車機関用のそれで，主軸受孔，カム軸軸受孔の両方を同時にラインボーリングする専用中ぐり盤である。

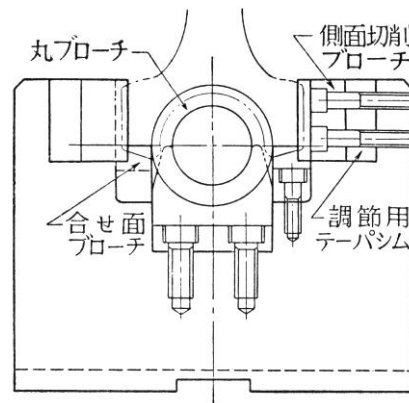
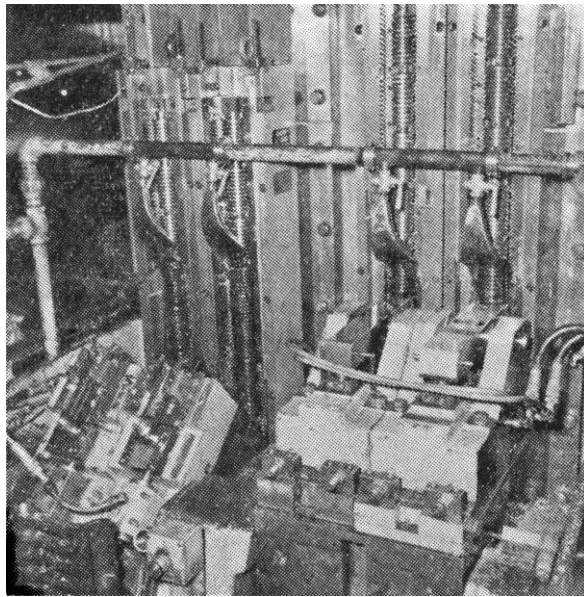
図V-1-4 自動車機関用ラインボーリング・マシン



同上書, 610 頁, 第 15・104 図.

コネクティングロッド大端部およびベアリングキャップのブローチ加工は油圧式表面ブローチ盤と高速度鋼 2 種製の組合せ式ブローチとにより, ベアリングキャップ合せ面とクラックピン孔とを一気に抜くモノへと拡大された(図V-1-5).

図V-1-5 表面ブローチ盤とコネクティングロッド大端部用組立ブローチ

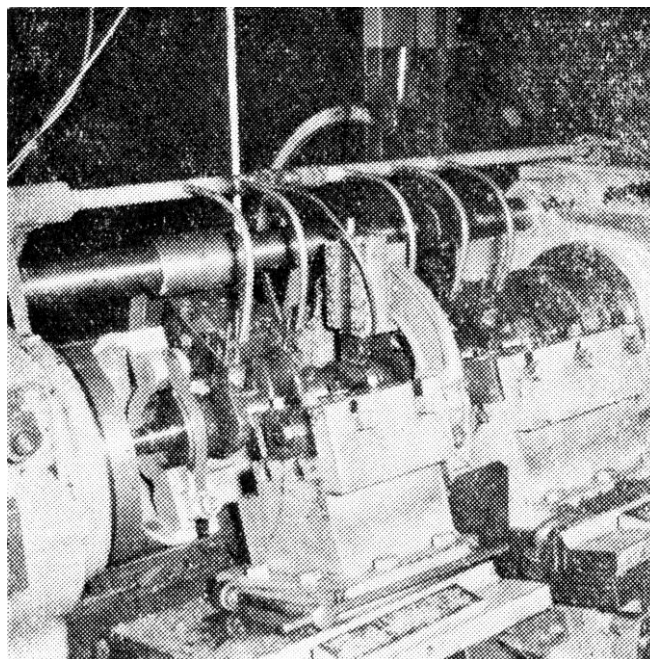


同上書, 618 頁, 第 15・122, 123 図.

組合せ式のブローチが用いられたのは製造の用意さと破損時の部分取換えの便を優先したからである. その後, ブローチ盤の駆動様式は油圧往復動式からラック&ピニオン往復動式へ, 更に'64年にはチェーンによるエンドレス式が投入され, その都度, 工作能率の大幅な向上が実現されるとともに, シリンダブロック上下面加工などにおいてロータリーフライス加工を代替するといった適用範囲の拡大も実現した. ブローチは超硬ブローチとなり, その長さも 4m 程度のものが現れることになる.

6 スロー・クランク軸の旋削は一例として鍛造粗形材の油圧プレスによる曲げ直し→堅型ボール盤による両端センタもみ→多刃旋盤による両端旋削→同じく第4(中央)ジャーナル旋削→自動多刃旋盤による第2,3,5,6,7ジャーナル旋削(図V-1-6)→クランクピン多刃旋盤によるクランクピン旋削(図V-1-7)といった手順を踏む。

図V-1-6 自動多刃旋盤による第2,3,5,6,7ジャーナル旋削

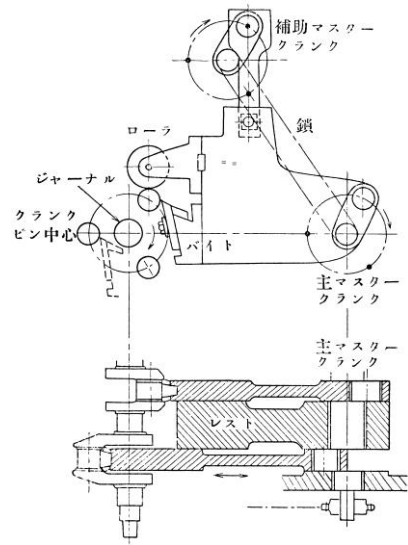
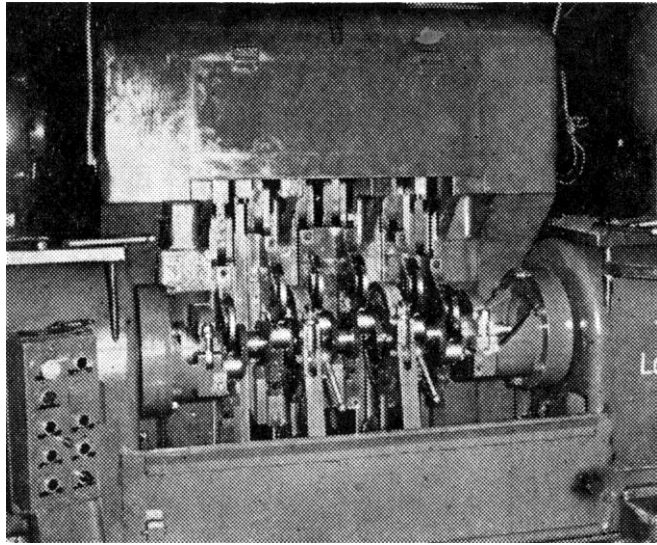


同上書，613頁，第15・112図。

図V-1-7 は戦後，最新鋭機として登場したクランクピン同時旋削型機械式クランクピン多刃旋盤を示す。本機は油圧制御の全自動機であった。メーカーロゴから Lodge & Shipley Machine Tool Co.の製品らしい。ワークは偏心支持されることなくジャーナルの中心を軸に両端から駆動された。チェーンで連動される2つのマスタークランクがピンを追従しつつ切削するようにバイトを動かした。純機械式制御でここまで到達し得たのであるから大したものである¹⁴⁴。

図V-1-7 戦後の機械式クランクピン同時旋削型クランクピン多刃旋盤とその作動原理

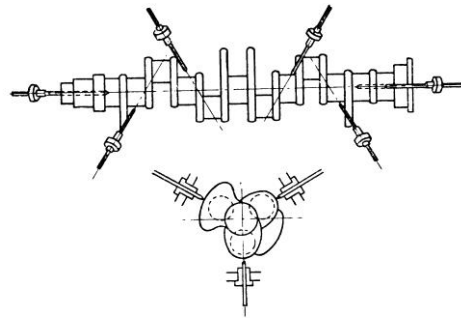
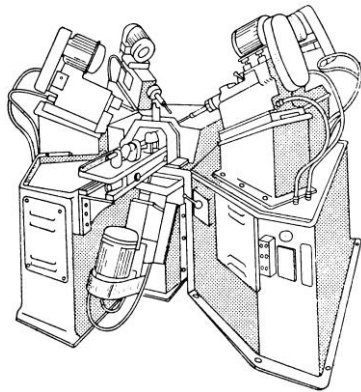
¹⁴⁴ クランクピンとクランクジャーナルとを逐次旋削し得る Gebruder Boeringer G.m.b.H.(ドイツ)製クランク軸旋盤については日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』287頁，参照。



同上書，614 頁，第 15・113，114 図。

主軸受からクランクピンへと至る 6 個油孔の穿孔は 6 軸クランク軸深孔ボール盤によって行われた(図 V-1-8)。

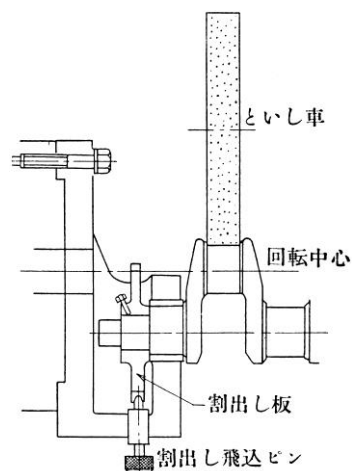
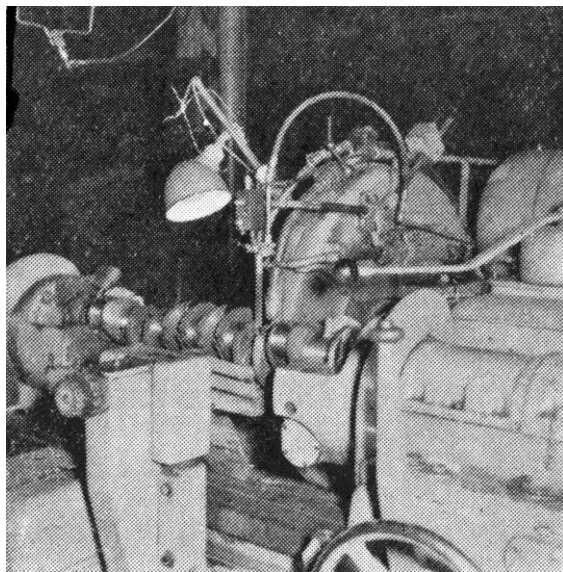
図 V-1-8 6 軸クランク軸深孔ボール盤



同上書，614 頁，第 15・115 図(a)，(b)。

クランクジャーナルやクランクピンの研削は復興期のわが国においては砥石車を 1 つだけ有するクランク軸研削盤を用い，ピンはクランク軸を偏心させて 1 個ずつ行うことが一般的であった。図 V-1-9 に示すクランク軸研削盤における割出し板の回転や次のピンへのテーブル送りから砥石車の進退，ピン左右の肩を仕上げるための半径ならびに軸方向移動などはリミットスイッチと油圧機構とによって自動化され，かつ電氣的な自動定寸機構が供えられていた。

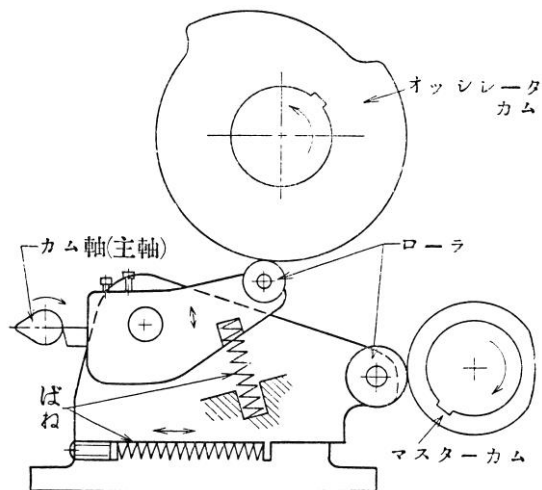
図V-1-9 戦後のわが国で用いられていたクランク軸研削盤とその作動原理



同上書，615頁，第15・118図。

図V-1-10は戦後，使用されていたカム軸旋盤の切削機構を示す．工作はマスターカムとオッシレータカムと主軸との同期回転によって制御され，すべてのカムプロファイルを同時に切削した．

図V-1-10 カム軸旋盤の切削機構



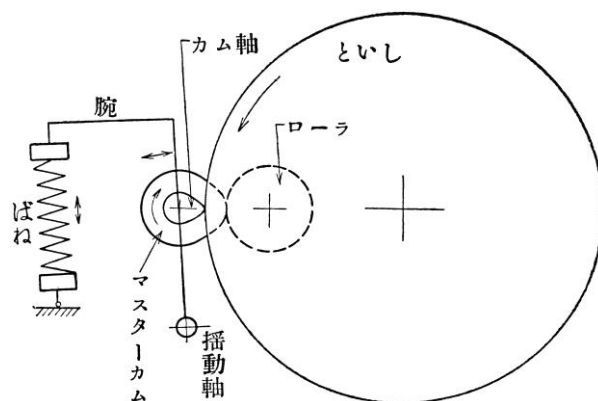
同上書，619頁，第15・125図。

興味深いのは，最も高い精度が求められるマスターカムの製作法である．当該旋盤のクセを織込むため，マスターカムの製作に当っては当該機械の主軸に工作精度の高いモデルカム軸が，オッシレータカム軸には手仕上げまで施されたオッシレータカムが装備され，刃物

台はバイトの代りに同形の黄銅製トレーサをくわえさせられた。マスターカム軸には真円筒の素材が取付けられ、刃物台右端のローラの処には同径の砥石車が取付けられた。こうしておいて、刃物台をバネで右に押付けながら砥石車を回転させれば、素材は逆倣い研削され、正しいマスターカムが工作された。

図V-1-11はカムの形状を仕上げるカムプロファイル研削盤の作動原理を示す。マスターカムはカムの数だけ用意されており、砥石車は1つだけで、逐次、移動して研削を終えた。

図V-1-11 カムの形状を仕上げるカムプロファイル研削盤の作動原理



同上書，620頁，第15・126図。

マスターカムの製作はカム軸旋盤のマスターカムの場合と同じ理由から同様に、マスターカムの処に素材を置き、砥石車の位置に真円の鋼製円盤を、カム軸のところにモデルカムを、ローラの代りに同径の砥石車を取付けて駆動し、モデルカムとマスターカム素材とを一体に回転せしめる逆倣い研削によった。成品を用いてカム軸の試験研削を行い、その結果に応じて油砥石を用いた手作業による修正がなされた。

わが国においてマルチホイール型のクランク・ジャーナルあるいはカム軸ジャーナル研削盤が導入されるのは'60年代後半であり、その頃には倣い加工一辺倒で推移して来たカムプロファイル研削盤の領域においてNC機も提案され始めることになる¹⁴⁵。

2. 倣い加工による専用機の終焉

1) トランスファマシンからマシニング・セルによるトランスファラインへ

“ステーション型専用機”がトランスファマシンの前駆形態をなす点については先にも述べたとおりである。トランスファマシンはパワー・ユニットを多軸ドリル・ユニット、深

¹⁴⁵ 武野伸勝「研削盤・最近の進歩」『生産と技術』Vol.18 No.12, 1966年，参照。

孔ボール盤ユニット，タッピング・ユニット，フライス・ユニット，ボーリング・ユニットなどに特化させたものを多数，体系的に組合わせて一連の工作を完結させる¹⁴⁶。

もっとも，その実現のためには統合的な制御技術が不可欠となる．一般に，自動制御機能を備えた本格的なトランスファマシンの嚆矢は 1941 年，Greenlee Bros. Co.が Nash Motor Co.に納めたシリンダヘッド加工用のそれと認められている．しかし，戦時下，その稼働実績はほとんど挙げられず，これを模倣した三菱重工業名古屋発動機研究所の試作機も戦時下，実用には供されずに終わった¹⁴⁷。

これらを含め，初期のトランスファマシンは電氣的制御系統に膨大なリレーを駆使する複雑なもので故障が絶えず，油圧配管もまた錯雑していたため，実用の域に達した個体といえどもその稼働率は低かった．アメリカ自動車工業界においてトランスファマシンが実質的な稼働を始めたのは 1950 年の Studebaker Corporation および Chrysler 以降である．

この年に勃発した朝鮮戦争はわが国の産業を復興への軌道に乗せたが，世界的に観れば 51 年にサウジアラビアのガワール油田が操業を開始し，石油という偏在的資源の特性が一層，昂進を示すと同時に，良質で安価なアラビアンライトと呼ばれる石油が世界に供給され始めている．未だかつてなかったような安価な石油，安価なエネルギー資源の時代が到来した．それは先進世界の産業一般にとっても“干天の慈雨”であった．

西ドイツにおいては 53 年，わが国においても同年に三菱重工京都製作所において横型水冷単気筒石油発動機のクランクケース加工用に，'56 からは自動車工場のシリンダブロックなどエンジン部品加工用にインライン型トランスファマシンの導入が始まり，'64 以降，各種自動車部品の工作にトランスファマシンが相次いで投入され，しかも，そのサイクルタイムは従来型の半分程度に短縮される運びとなっていた．

スローアウェイチップの採用拡大とあいまって少量生産・試作の分野において NC 工作機械が実用化されたり，マシニングセンタの導入が指向され始めたりしたのも同じ頃であった．そして，トランスファマシンの NC 化は '63 年より，中量生産向けにマシニングセンタを総括的に制御する FMS も '68 年より，いずれもアメリカで実用化の緒についていた¹⁴⁸。

現在，トランスファマシンのシステムに組み込まれている興味深い要素の一つに，わがコマツ NTC の作品たるクランクシャフト加工機がある．これには二様式あり，いずれもワークを偏心支持することなくジャーナルとピンとをまとめて一気に切削する．この内，第 1 世代の外刃式はワーク回転型で，大き目のワークに対する適合性が高い．機構的には要するに図 V-1-7 のクランク軸専用旋盤の NC 化版ないしデジタル制御型である．第 2 世代は内刃

¹⁴⁶ 坪井前掲「量産機械および工程」，参照．

¹⁴⁷ トランスファマシンの歴史については山田卓郎「トランスファマシンの歩み(1), (2)」『機械の研究』第 27 巻 第 1 号，第 2 号，1975 年，参照．

¹⁴⁸ 石原前掲「生産技術」，参照．

式でワーク固定型，つまり図Ⅲ-2-47のNC化版ないしデジタル制御型で，工作部位に刃物が周りから取り付いてかじって行くワケである。

一方，中形機関用クランク軸切削には新日本工機が，大形機関用クランク軸切削には唐津プレジジョンがそれぞれワンチャッキングでジャーナルとピンとを同時切削する複合旋盤を提供している。ことここに至れば，デジタル制御を行いさえすれば大概の工作は実行可能という総括になるワケである¹⁴⁹。

他方，汎用機の領域で徹底的に伝統を破壊したのがマシニングセンタを典型とする複合加工機であることは論を俟たぬであろう。その進歩について，識者は「たとえば，マシニングセンタの加工精度はこれまでの治具中ぐり盤(jig boring machine)の作業分野の加工を可能にし」，これによって旧来の工作機械の守備範囲が崩されたと述べている¹⁵⁰。

それはそれで誠に結構なことである。しかしながら，同じ著者が複合加工機の進歩によりエンジン部品機械加工においてラインボーリングが廃止されたとして，次のような例を紹介しているのはいかがなものか？

小形エンジンのクランクシャフト穴は，ラインボーリング加工(line boring)に代わって，横型マシニングセンタで片側から半分ずつ180°反転加工しても設計要求を満足できる。別の加工例では大形クランクケースを門形の立形複合加工機を使いケースを上下反対に下面が上になるように機械のテーブル上に，テーブルの送りの方向とケースの中心線を合わせて取り付け，ライトアングルヘッドを主軸頭に取り付けて，短い中ぐり棒を使ってクランクシャフト穴を1穴ずつ，ヘッドを上下に動かして中ぐり棒の上下方向の位置決めを繰り返しながらテーブルの送りを使って加工しても，真直度に問題は全く生じない。ここでもラインボーリング加工が1個ずつの加工に置き替った¹⁵¹。

ビルのような図体を誇る数万馬力級の舶用大形低速ディーゼルはもとより，数千馬力級の舶用中形中速ディーゼルを超えるエンジンにクランクケースやハンガー型主軸受などありはしない。よって，引用中に観られる「大形クランクケース」なる言い回しはいかにも不用意であり，恐らく，それは単に“少し大き目の高速ディーゼル”程度の含意だったのである。

だとすれば，確かに，そこで語られているような例や傾向も存在してはいる。しかしながら，それは所詮，中・少量生産の工場においてのみであって，小型車用であれ大型車用であれ，こと自動車機関のごとき量産エンジンに関して言えば，上に観るような悠長かつ工作精

149 新日本工機の製品例については峯川充央「旋盤ベースのクランクシャフト加工機」

『ツールエンジニア』Vol.59 No.5, 2018年4月，唐津プレジジョンの製品については同社HP，参照。

150 橋本・山田『新編 機械加工学』97頁，より。

151 同上。

度において劣る工作法など到底、トランスファマシンに代る生産技術として成立し得べきものではなかった。

著者の一人、山田氏は三菱重工業の技術者であった。そこで、この書籍刊行後の技術推移について三菱重工業の足取りを尋ねてみれば、次のような事績に行き当たる。即ち、三菱重工業は2006年、CNCトランスファラインに投入される新たなマシニングセルを開発した。当時、自動車エンジンのシリンダブロック粗加工はマシニングセンタによるマシニングセルを使用してフレキシブル化されるまでになっていた。これは専ら作動俊敏な高速マシニングセンタが開発されたお蔭である。

しかし、その仕上げ加工には従来型の専用機から成るトランスファマシンが充当されていた。ラインボーリング・マシンはそのような専用機の一つであった。三菱重工業の提案は仕上げ加工をもマシニングセル化しようとするものであった。そこでラインボーリングに代る技術として提案されたのは横型マシニングセンタにくわえられる約 850mm という長尺の片持ち式ボーリングバーであった¹⁵²。

その2年後、同社の「製品紹介」には一回り大きな長さ 870mm、重量 30kg のボーリングバーを駆動する同工のマシニングセンタが登場し、なおかつ、そこではラインボーリングも実施可能となっている旨、紹介された。これはラインボーリングの方が工作精度は高く、かつ、この高い精度への支持がそれほどまでに強かったということの証左である¹⁵³。

その後の展開に係わる委細は管見の限りではないが、工具メーカー Kennametal Inc.(米)の主張するところを多少、推測を交えて敷衍しつつ述べれば、この間における技術進歩の趨勢を窺うことができる。同社によれば、直列 5 気筒小形エンジンのブロックの主軸受孔(半孔)を仕上加工する工法として次のような諸例が挙げられており、おおむね番号の順が進化の階梯をなす¹⁵⁴。

0. 従来の専用機によるラインボーリング

この工作法は高精度を保証するが融通性に欠け、変種変量生産に不適合である。

1. マルチブレードガイドパッドリーマによる方法.

この工作法は CNC 横型ないし多軸マシニングセンタを利用でき、専用ボーリング機と専用治具を必要としないが、ワークサイズによっては工作機械に高い剛性が求められ、剛性不

¹⁵² 藤村宜孝・田中雄一郎・菅野賜也「シリンダブロック仕上げ加工用マシニングセンタを用いた超フレキシブル加工ラインの実現」『三菱重工技報』Vol.43 No.3, 2006年, 参照.

¹⁵³ 「製品紹介自動車エンジン用シリンダブロックのフレキシブル加工機 M-CM5AL」同上誌, Vol.45 No.3. 2008年, 参照.

¹⁵⁴ <http://guide.jsae.or.jp/topics/105943/>, 参照.

足の場合、加工品質大幅低下の恐れあり。リーマの挿入・抜取りをゆっくりかつ精密に行わなければ抜き取り痕や切れ刃の損傷を生ずる。工作の手順は次のとおり：

- ・パイロットリーマで最初の主軸受孔を仕上げ。
- ・マルチブレードリーマを通し主軸受孔 2 から 5 を中および最終仕上げ。
- ・リーマ抜き取り。

2. カウンタ・ベアリング機能を持つ治具を用いるラインボーリング。

この工作法は工具の切り込みおよび抜き取りを迅速化でき、バーが両端支持となるため仕上りの形状品質が 1 より向上する反面、リフト機能、特殊な治具、CNC 制御が必須となる上、治具側にカウンタ・ベアリングを設けるためワンチャッキングでワークの背面側まで加工することは不可能である。工作の手順は次のとおり：

- ・シリンダブロックを持ち上げる。
- ・ラインボーリングバーを通し、治具のカウンタ・ベアリングに挿入。
- ・シリンダブロックを降ろしてクランプ。
- ・クランクボアを中仕上げおよび最終仕上げ。
- ・シリンダブロックを持ち上げ、ボーリングバー抜き取り。

ちなみに、前掲、三菱重工業 M-CM5AL においてラインボーリングも可能となるというのは恐らく、これに類似する手口であったろう。

3. 傾斜するテーブルないし主軸を持つマシニングセンタと拡張可能なガイドパッド付きボーリングバーを用いるラインボーリング。

この工作法においてはリフト機能やカウンタ・ベアリングの省略が可能である反面、ボーリングバーが構造複雑・高コストとなり、潤滑不良状態で使用すれば内部構造を損傷し、工具とワークとの干渉と損傷が惹起される。工作の手順は次のとおり：

- ・パイロットリーマにより主軸受孔 5 を仕上げ。
- ・部品(またはテーブル)を 180° 旋回。
- ・傾斜を利用しボーリングバーを偏心状態で挿入。
- ・ガイドパッド付きボーリングバーを主軸受孔 5 にセンターリング。
- ・ガイドパッドを拡張。
- ・主軸受孔 1~4 を中仕上げ、5 を最終仕上げ。
- ・ガイドパッドを退縮。
- ・傾斜を利用し偏心状態でボーリングバー抜き取り。

1~4 の最終仕上げ、5 の最終仕上げに係わる手順についての記述は観られない。

4. 非対称ソリューション

通常、切れ刃と 180° 対称の位置に置かれるボーリングバーのガイドパッドを円周方向に変位可能な構造とし、これを偏心状態にしてワークとのすき間を稼ぎ、バーを高速抜き挿しする方法。非対称ラインボーリングは中ぐり加工の精度や速度を高め、工具の保守と取り扱いを楽にし、なおかつ CNC マシニングセンタをそのまま使用可能である。工作の手順は次のとおり：

- ・パイロットリーマを切込んで主軸受孔 5 を仕上げ。
- ・部品(ないしワークテーブル)を 180° 旋回。
- ・ガイドパッドを非対称位置に変位させた偏心状態でボーリングバーを高速挿入。
- ・ガイドパッドを復位させ工具を主軸受孔 5 にセンタリング。1~4 を同時仕上げ。
- ・ガイドパッドを変位させ、バーを再び偏心状態にして高速抜き取り。

この非対称ボーリングバーは従来のラインボーリングの優位点——工具の両端支持による高精度——を受け継ぎつつ、高コストのリフト機能、背面工作の妨げとなる治具上のカウンタ・ベアリング、取扱い困難な工具の内部構造を排除する。切込みと抜き取りの動作はマシニングセンタによって高速で行われるため生産効率も高められるとのことである。

なお、2014 年 11 月、この非対称ソリューションにより、Kennametal は BMW サプライヤ・イノベーション・アワードの生産性部門において表彰されたサプライヤ 3 社のうちの 1 社、かつ、唯一のツーリングサプライヤとなった。

以上、観て来たように、こと自動車エンジンのブロック加工に関する限り、お点前よろしくワークを 180° 旋回させるとしても、それは両側から掘ったトンネルを真ん中でよく合致させられるからではなかったし、1 個ずつ突きながらたこ焼きを焼くように半孔を挟んで行く工作法などとはさらさら無縁であった。主軸頭の等しい支持剛性を前提する限り、これを片持ち式で用いるよりカウンタベアリングを添えて使用の方が高い工作精度に結び付くことは当たり前である。かの Wilkinson の中ぐり盤を淵源とするラインボーリングの美点を保持しつつ、いかにしてフレキシブル化を図るか……これこそが今も自動車生産技術開発における不易のキーワードをなしているのである。

2) 金型加工

往時、ケラーマシンの独壇場を呈した感のある金型加工について、識者は：

大形工作機械の高速金型加工の例では 6,000mm/min~10,000mm/min の高速 CNC 制御が可能となった結果、加工時のピックフィード(pick feeds. 1 パス間のピッチ)を細かくしても加工時間が変わらず、仕上がった金型表面の凸凹がほとんど目立たないほどまでに仕上がるので機械加工後の手仕上げ時間は数分の一に短縮された¹⁵⁵。

と述べている。

¹⁵⁵ 橋本・山田『新編 機械加工学』98 頁、より。ピックフィードはプレーナの工具送り(ワークの運動と直角方向)に相当。

これはまさにその通りである。加工情報は 3 次元モデルをデジタル化して数値情報として工作機械のコントローラに入力され、直接的な倣い加工は過去のものとなってしまった。このような時代はまた、一面において、高速主軸とボールエンドミルの全盛期でもある。高速スピンドルや砥石軸の軸受としてはアンギュラ玉軸受や静圧すべり軸受が汎用され、高精度・高速・軽切削が時代の寵児となっている。その典型的結末、むしろ根本的動機は 3 次元曲面の濫用に求められる。

VI：タービン関係の工作と工作機械の主軸受

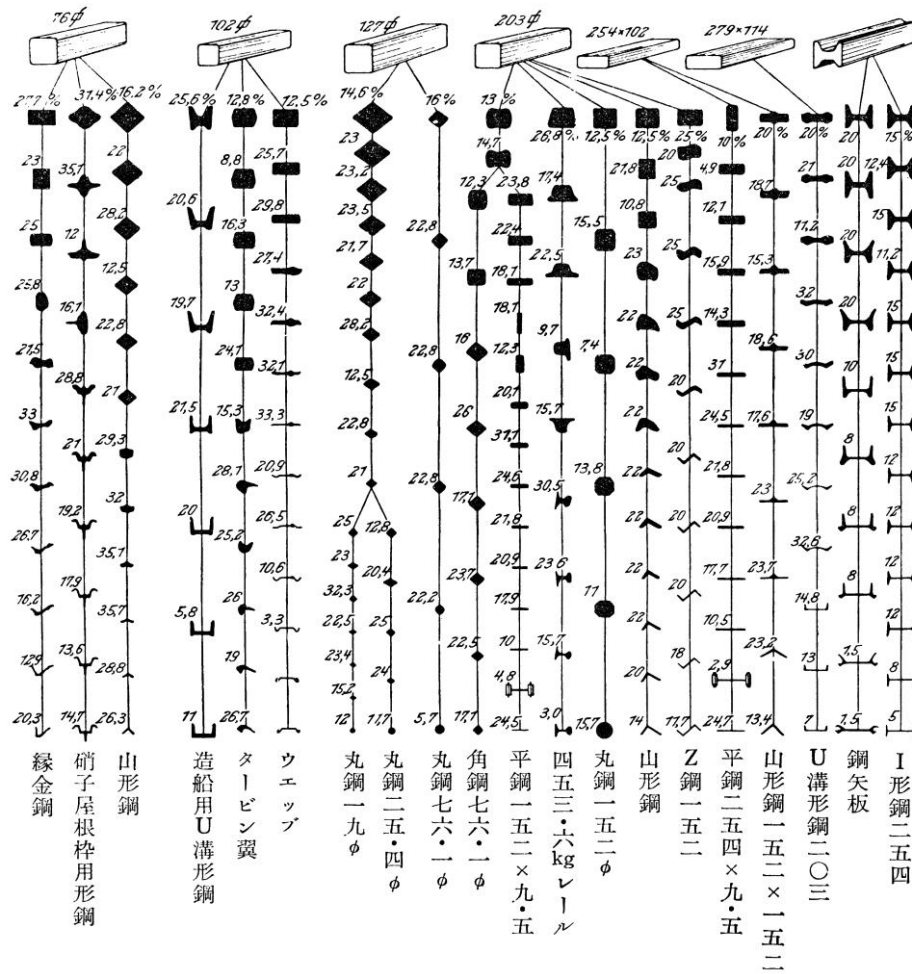
1. 動翼の工作とフライス盤

近代的かつ実用的な産業動力用原動機としての蒸気タービンは 19 世紀末に登場した Parsons(英)の反動タービンを以って嚆矢とする。その複雑精妙な断面を有する静動翼は黄銅板の引抜きによって工作されていた。衝動タービンにおいても Zoelly(スイス)の衝動タービンは鋼板プレス品機械加工の動翼を用いていたが、ほどなく鍛造粗形材削り出し品へと転じた。衝動タービン用鍛鋼削り出し動翼において先行したのは Curtis(米)や Rateau(フランス)であり、衝動タービンの動翼はやがて鍛鋼品削り出しへと帰一した¹⁵⁶。

その削り出しはズブの角棒から行われることも孔型ロールによるビレットからの圧延鋼材＝異形断面棒鋼の一種から行われることもあった。図VI-1-1は孔型圧延鋼の製品例で、左から 5 番目にタービン翼材が掲げられている。添書きの数値は鍛錬係数で、単純に断面積の縮小率を意味する。圧延工程においては鍛錬効果、即ち造塊工程で生じた不均一な鑄造組織や空孔の圧壊による材質強化を得るため 1 パスにつき 25%以下の鍛錬係数を設定することが普通である。最終製品に近付けば結晶粒を繊維状に圧壊し、鍛流線を製品長手方向に繊維状に走らせることが強度上、有利となる。

図VI-1-1 孔型圧延の例

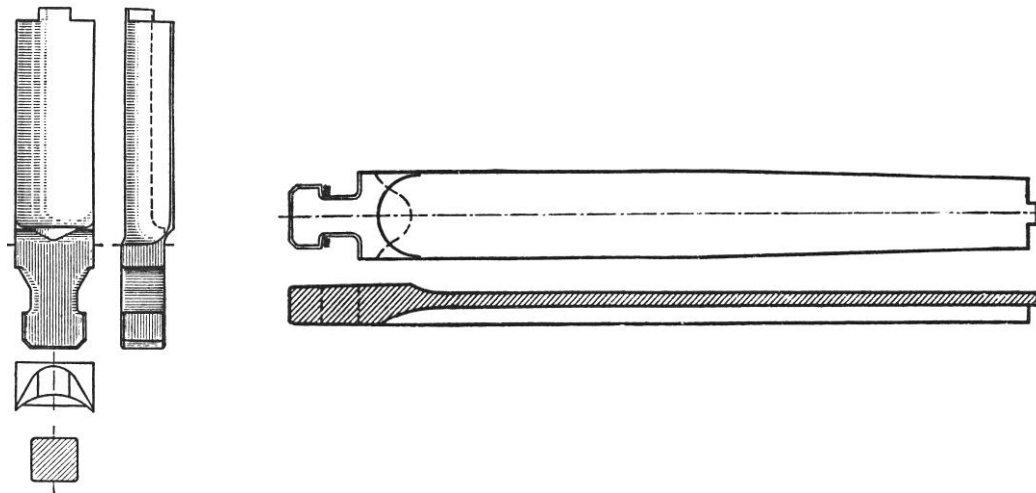
¹⁵⁶ 蒸気タービンの技術史一般については拙著『船用蒸気タービン百年の航跡』ユニオンプレス、2002年、拙稿「蒸気動力技術略史」参照。



機械工学図集編集委員会『機械工作 機械工学図集 1』22 頁, ⑥.

バー材からの削り出しはフライス盤による切削加工の形で行われた。以下、しばらく、タービン工学のパイオニア、チューリッヒ工科大学教授、Stodola 博士の所説を参照してみよう。図VI-1-2 はディスタンス・ピースないしスペーサー一体型に削り出された衝動翼で、いずれも A.E.G.(ドイツ)の製品例である。

図VI-1-2 バー材からの削り出しによる A.E.G.衝動タービンのブレード



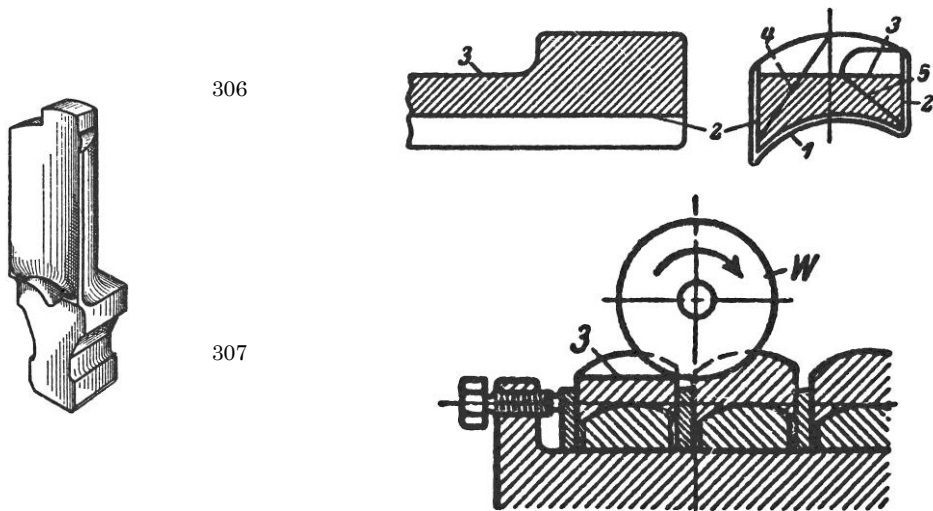
A., Stodola, translated by L.,C., Loewenstein, *Steam and Gas Turbines with a Supplement on the Prospects of the Thermal Prime Mover*. N.Y., 1927. p.341 Fig.303, p.342 Fig.305.

動翼の削り出しは非常に手間のかかる工作となるため、工程簡易化の狙いから翼根部は平面構成とされている。Stodola は図VI-1-2 左のように短翼を一体削り出しとするのは戦時下、抗張力の低い材料の使用を予備なくされる時のみである。他方、その周速が高くなる図VI-1-2 右のような長大翼においては一体削り出し工法が不可避となっていると述べているが、タービン性能が低かった時代の制約である。一体翼(合成翼)は間もなく標準技術となった。Stodola はまた、遠心力の作用を軽減させるため長大翼は翼幅の漸減=テーパ付きとする。この場合、遠心力が曲げモーメントを生じないように高さを異にする各翼素の重心位置がすべて同じ垂直軸上に来るようにすることが肝要であるとも述べている。

Stodola は動翼の削り出しは工作コストが高いため、合理的な段取りが不可欠であると強調した上、Brown Boveri and Cie(スイス→Asea Brown Boveri)における処方について紹介している。先ず衝動翼について、Curtiss 翼は図VI-1-3 のように、型圧延された棒材(rolled bar of the desired profile)から削り出すとある(306)。それは極厚カマボコ状のバー材であったらしい。工程はこのバー材を 8 本ばかり並べ、冷間でメタルソーによって定寸に切断することから始まる。

最初の切削は翼腹の凹面(306 : 1)および両サイド(306 : 2)の同時フライス削りで、ワークは両端面で強固に拘束される。使用されるカッタは総形フライスと 2 本のエンドミルである。

図VI-1-3 カーチス翼のフライス削り

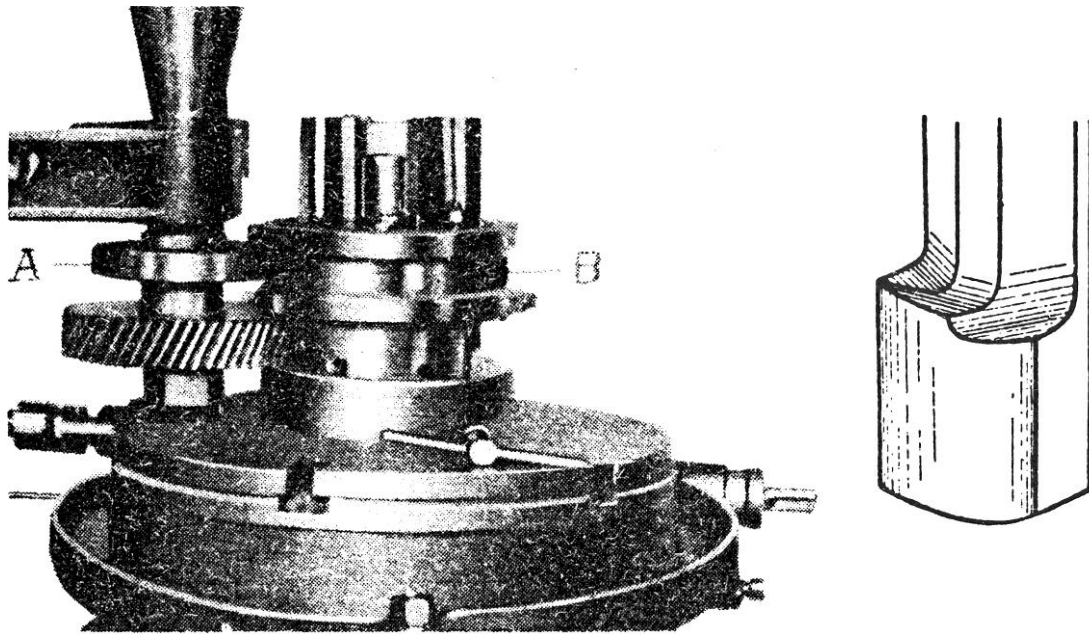


ditto., p.342 Figs.304, 306, 307.

続いて、動翼背面のヘリカルカッタ W による平面削り(307 : 3)。この時、翼根部は削らない(306 : 3)。

次に、図VI-1-4 に示される翼根部背面の総形フライス削り(308)。ここでは4本を同時に切削する。Aはプロファイル・ローラ、BはAをガイドする回転カム。倣い機構全体は一定速度で回転しつつ水平方向にも移動可能なテーブル上に置かれており、テーブルはローラAに対して錘とワイヤロープによって常時、密着させられている。動翼々根部にはそれが翼車に植えられた際、翼車半径方向に、即ち放射状に立てるようテーパが付与されていなければならない。このため、フライスカッタは円すい形に研磨されている。切削完了ワークの抜取りと新規ワークの挿入は機械の運転中に行われる。この工作を終えた後の翼根部は309のような外観を呈する。

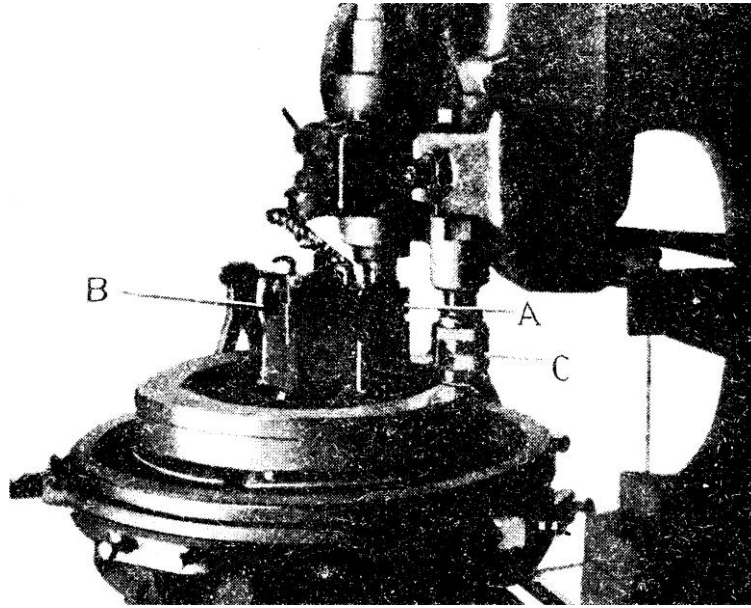
図VI-1-4 動翼々根部の倣いフライス加工(308)と成品形状(309)



ditto., p.343 Figs.308, 309.

翼根部の肩に傾斜を与えることを含む背面の仕上げ切削は図VI-1-5 に示されるように倣いフライス盤によって行われる(310)。ワークは同時に 4 本、翼根端部と先端部とをクランプされ、テーブル上、垂直に保持される。この取付具はプロファイル・カム B を担持しており、これに対して主軸と同芯のプロファイル・ローラ A が密着せしめられている。テーブルの回転中に取付具は対応するカム上を転走するローラ C によって持上げられ、カッタの下端部が動翼背面になで肩状の突起を成形する(311)。

図VI-1-5 倣いフライス盤による動翼背面の切削(310)



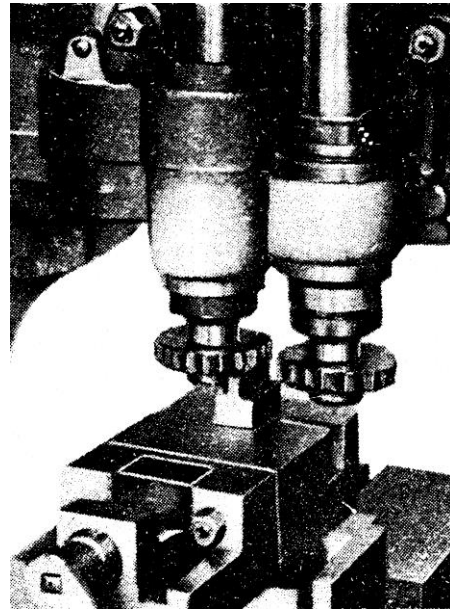
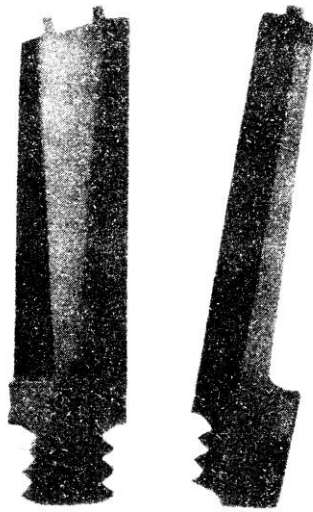
ditto., p.343 Fig.310.

長大翼の場合には 310 のフライス盤に細長い円すいカッタをつかませて翼の厚みを先端に向って漸減させる。遠心力の作用線が翼根部の中心を通過するように動翼を翼車リムに斜めに取付けるため、腹側の翼根端部には長手軸に対する傾斜角を付与する必要がある。それは端部に切れ刃を持つ軸カッタ (shaft cutter with end face teeth) によって工作される¹⁵⁷。

図VI-1-5 に示されるように、翼根部に植込み用三角溝を切削する場合は主軸を 2 本持つ 2 軸フライス盤を用いる(311, 312)。

図VI-1-5 削り出された衝動翼(311)と翼根部三角溝の切削(312)

¹⁵⁷ 後段のような設計が一般的であったのか否かについては管見の限りではない。



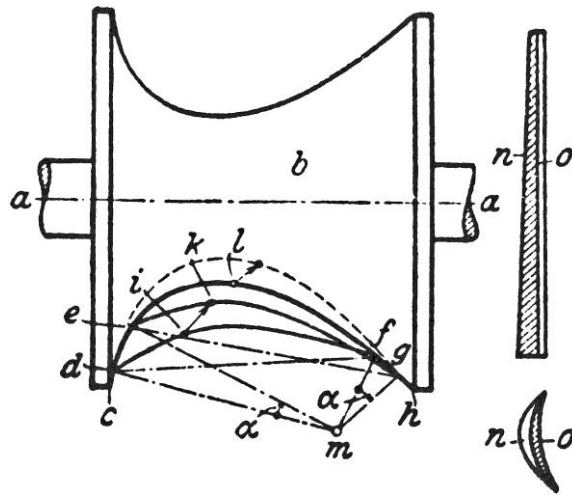
ditto., p.344 Figs.311, 312.

シュラウド・リング(翼縁抑え)かしめ用のリベット突起(311)の工作は5つの独立したカッタから成る組合せカッタによって行われる。

動翼の背面は高速回転するエメリー・ペースト付きフェルト円盤を用いて長手方向に対して斜めに研磨される。これにより断面積削減の過程で形成されたまくれも除去される。腹の凹面の研磨もその曲率より幾分小さな半径を有するエメリー・ディスクによって行われる。

Brown Boveri においては反動タービンの動翼をライセンスである Parsons Marine Steam Turbine Co.(英)の流儀である板材引抜き加工によってではなく、バー材からの削り出しによってより強化された格好で製造していた(図VI-1-6)。相当な長さを有し高速で運転される反動タービンの動翼の工作は、粗フライス加工や翼根部の工作に関する限り、ここで述べて来たものと同じであったが、断面積の漸減して行く反動翼を1回のフライス削りによって製造する図VI-1-6に示される方法は興味深いモノである(314)。

図VI-1-6 Brown Boveri 反動翼のフライス加工(314)

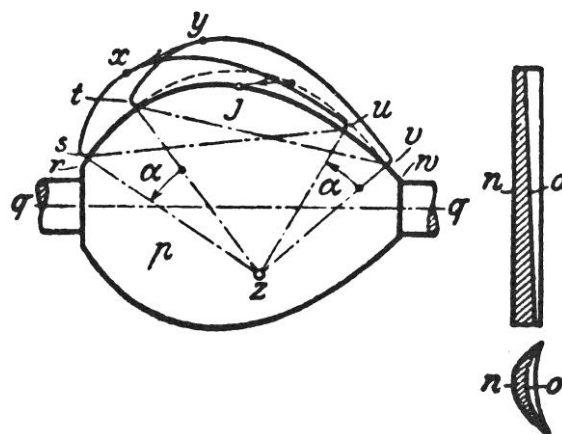


ditto., p.344 Fig.314.

これに使用されるカッタは *celfg* で示されるプロファイルを有している。動翼の翼根部付近の断面は *clfi* である。動翼がカッタの下で前進せしめられる際、それは *elgk* で示される位置まで回転せしめられ ($i \rightarrow k$)、動翼は凹面の形状を保ったまま凸面の破線からカッタ輪郭までを削り落されることにより所定の断面積減少が得られことになる。動翼の回転ないし回転は中心 m 回りに行われ、点 d, e, f, g の軌跡は m を中心とする同心円弧を描く¹⁵⁸。

同様の工作は図VI-1-7 に示されるとおり、西洋なし型カッタを用いて動翼の凹面を削ることによっても実施可能である(313)。 *yvj* は動翼の最初の位置を示す。 *xus* がその最終の位置となり ($y \rightarrow x$)、同じく破線からカッタ輪郭までが削り落とされた結果となっている。

図VI-1-7 Brown Boveri 反動翼のフライス加工(313)

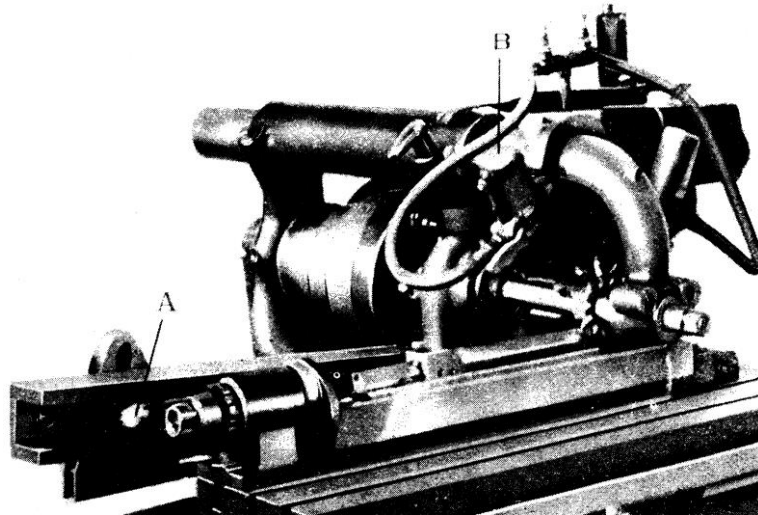


ditto., p.344 Fig.313.

¹⁵⁸ これはまさしく、先に観たプレーナ用ヘリカル溝切削アタッチメント(図II-2-20)の個別応用形態である。

図VI-1-8 に平フライス盤用ヘリカル・アタッチメントの使用状況を示す(315)。A は動翼を回転させるガイドレバーの球端で、溝の中を摺動する。B は空圧シリンダで、切削はじめにピストンは動翼を圧下している。カッタが翼根部に近付けるよう、翼根部付近は倣いフライス加工されていなければならない。

図VI-1-8 反動翼切削用ヘリカル・アタッチメントの使用状況(315)



ditto., p.345 Fig.314.

続いて、日本海軍における艦本式タービン動翼とその工作に係わる挿話を紹介しておこう。日本海軍における蒸気タービン翼材としての不銹鋼使用の歴史は不銹鋼甲に始まり、乙に至る歩みであった。最後の艦政本部長を務めた渋谷隆太郎は衝動タービンに属する艦本式タービンの翼材が不銹鋼乙へと着した経緯とその動翼機械加工の歩みについて次のように述べている：¹⁵⁹

翼の材質に関しては最初燐青銅を使用したが高強度が不十分であると云うのでニッケル鋼を使用して見たが、不銹性に欠ける所ありとして、全面的に採用するに至らず、モネルメタル、ニッケルブロンズ等色々考えられたが、これ又強度耐振性十分ならず理想的のものと考えられなかった。[1920年]当時旧横須賀海軍工廠の部員山下(誠一)機関中佐がステンレススチールを翼材に使用したらどうかと云う話もあったが、旧艦本五部では未だ其の機運にも至らなかったのと、自分としても材料に対する智識が誠に貧弱であった為思い切ってこれが採用方に乗り出すことが出来なかった。

然るに前述の如く大正 11[1922]年吉成(宗雄)機関大尉が欧州から帰朝し、ステンレススチールを翼材に使用すべきことを強調し、これが研究を旧呉海軍工[廠]製鋼部に依

¹⁵⁹ この経緯については前掲拙稿『船用蒸気タービン百年の航跡』でも紹介しておいた。

頼することにした。当時の製鋼部長は其の後八幡の製鉄所長になられた野田[鶴雄]造兵少将、担当部員は吉川(晴十)造兵大尉であった。当時ステンレススティールを大別してクロム 18%、ニッケル 8%のもの、クロムよりもニッケルを沢山入れたアンファイ系のもの、クロム 13%を含むものの三種類であった。アンファイ系のステンレススティールは使用する意思がなかったから、結局 18-8 系と 13 クローム系のステンレススティールに調査が進められた。前者を不銹鋼甲、後者を不銹鋼乙と称し最初は不銹鋼甲の優秀なる不銹性と強度の優れた点に着目し、専らこれが使用されることに傾いた。

不銹鋼甲を使用せんとするに衝り、適切な熱処理を知らなかった為にネバくて機械加工が出来なくて困ったが、沖(信二)氏がこれにふさわしい熱処理を提唱し、やっと削れるようになったが、それでも強力なミリングマシン(シンシナチーNo.4~No.5)を以って巾 20 ミリ、長 150 ミリ程度の翼が 1 日 7 本位しか削れなかったので各旧海軍工廠及民間製造所に強力な水平ミリングマシンを多数装備することになった¹⁶⁰。

粗材は旧呉海軍工廠の外に大華冶金でも作れる様になり、最初は角材削出して作って居たが其の後スタンプフォーミングを利用して仕上がり重量の約二倍程度の型鍛造品から削り出すことになり機械加工も或る程度楽になったがそれでも翼加工に対する苦心は多かった。尚この外に不銹鋼甲は熱処理後これを冷間加工することによって思わざる欠陥を現すことがあった。

……………中略……………

しかも値段は高価であるし自分としては不銹性を除く外は翼材として不銹鋼甲よりも不銹鋼乙の方が適材であろうと思った。私は大正 11 年 12 月に旧艦本五部でタービン班長になった。其の翌年 9 月に大震災があり、それと同時に五部長の交代があり斉藤(真)造機中将が五部長になられた。当時私は吹雪級駆逐艦、那智級[妙高型]巡洋艦用主タービンの設計をやって居たのであるが、新五部長はタービン工作上の見地から不銹鋼甲よりも同乙の方が有利なりと考えられ、自分に相談があった。自分は直ちに之に賛成し爾後翼材には全面的に不銹鋼乙を採用する如く諸準備が進められた。

先ず第一に不銹鋼乙材を五部長(斉藤真さん)の友人渡辺三郎氏が経営する日本特殊鋼株式会社(日特)で研究製造せしむることとし、差し当たり旧横須賀工廠建造予定の一万噸巡洋艦妙高用タービン翼の一部分に英国ファース製の 13 クローム不銹鋼を購入装備することにされた。自分は右日特の仕事を援助する為に参考書類を貸与したりタービン翼設計工作上的の注意事項の講義をやったりした。斯様にしてタービン翼材は妙高級

¹⁶⁰ フライス盤の No.4, No.5 なる型番はテーブル移動距離を反映するサイズの目安に過ぎず、大きい番手ほどサイズも大となる。当然ながらこの呼称番号平型、堅型両方に振られていたため、それだけで型式を判別することは不可能である。もっとも、行論からすれば、いずれも平型の謂いであろう。

巡洋艦，吹雪級駆逐艦を界目として不銹鋼甲から同乙に転換される様になったのである。

………中略………

その後タービンの製造基数が増加した為に翼材の生産は日特だけでは間に合わず，旧呉海軍工廠製鋼部及び旧横須賀工廠の造機部で生産せしめた。尚切削能力の増強策として単能機械を考案し，或る程度の短い翼はこれで削ることとし，間に合わせて居たのである。単能機械と云うのは翼の切削工程を 15 位に分析し，各単一行[工]程の時間を同一とし各工程に適応する単能機械 15 台を系列に整備し翼の切削を流れ作業で行わしむるものであった¹⁶¹。

即ちタービン翼材の 18-8 ステンレスから 13 クローム鋼への転換，平型汎用フライスによる艱難辛苦を極めた機械加工，短翼切削における工程細分化に依拠するリンカン型まがいの単能機と総形フライスとの開発とを通じた部分的流れ作業化……そこに展開せしめられていたのはフライス盤による重切削全盛の工程である。

2. 重切削・高速切削を支えた工作機械の主軸受

この工作をその根底において支えていたのは極めて大きな動定格荷重を有す主軸受であった。ここで注目されるべきは Timken Roller Bearing Company の円すいコロ軸受のアメリカ製工作機械への適用である。

Timken の円すいコロ軸受はアメリカ製フライス盤に数多く採用されていた。Cincinnati Milling Machine Company の技師長によれば，同社は'20 年代初期に先ずその single pulley フライス盤駆動部の標準部品としてこれを導入し，切削効率の大幅な向上を確認した。程無く，同社はフライス盤の主軸にもその適用範囲を広げることで 30%もの切削能力アップを実現させた。この間，軸受のトラブルは皆無であった¹⁶²。

American Type Founders Co.の製造部長は同社に設備されていた平軸受式小形フライスの主軸軸受が 2500rpm の回転数に耐えられず，日常的に削正を要していた事態に業を煮やし，1 台の軸受ボスの中ぐりして Timken 軸受に交換したところ，6 年間の稼働の内にただ 2 回の調整を行うのみで事足りたため，保有する多数のフライス盤を同じ仕様に変更して良好な結果を得たと報告している¹⁶³。

Milwaukee ブランドで知られたフライス盤メーカー，Kearney & Trecker Corporation もまた'21 年に自社工場設備である 1 台のフライス盤に Timken 軸受を初採用して 5 年間に

¹⁶¹ 生産技術協会『旧海軍技術資料 第 1 編(2)』1970 年，112～114 頁。[]内，段落追加引用者。

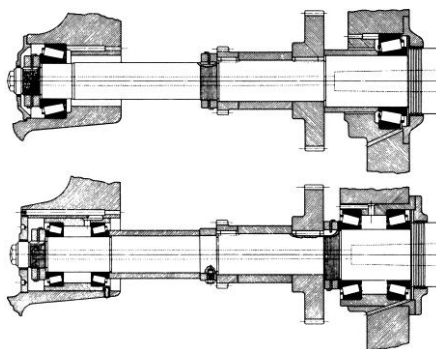
¹⁶² cf., The Timken Roller Bearing Company, *Wherever Wheels and Shafts Turn*. Ohio, 1929, p.44.

¹⁶³ cf., *ditto.*, p.45.

及ぶ苛酷な試用の後、その高い負荷容量と機械効率、長寿命、コンパクトさ、回転の円滑性を確認し、最大機種 No.4 への Timken 軸受採用を決断するに至った¹⁶⁴。

かくて、Timken 軸受はアメリカ工作機械の標準的な主軸軸受の地位を獲得するに至った。図VI-2-1 は'20年代のアメリカ製横フライス盤の標準的な主軸を示す。潤滑は強制循環のようである¹⁶⁵。

図VI-2-1 '20年代のアメリカ製横フライス盤における標準的な主軸



from *Wherever Wheels and Shafts Turn.*, p.45.

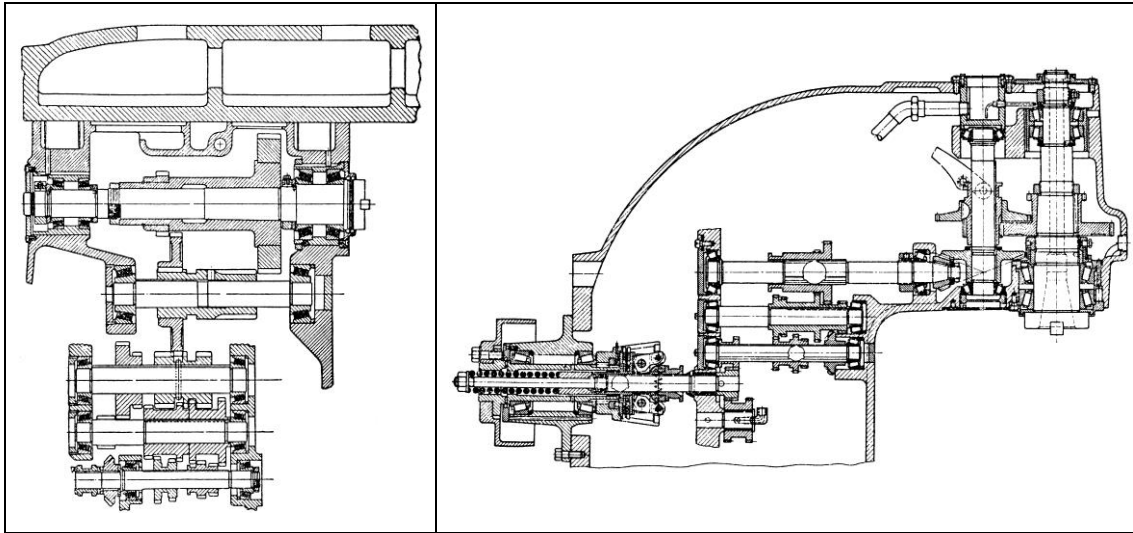
図VI-2-2 は変速機構から主軸に至るまで、円すいコロ軸受をこれでもか、と言わんばかりに多用した Cincinnati Milling Machine Co.製フライス盤の駆動部を示す。横型のそれは1925年のモデルである¹⁶⁶。

図VI-2-2 Cincinnati Milling Machine Co.製フライス盤の駆動部

¹⁶⁴ cf., *ditto.*, p.46.

¹⁶⁵ アメリカ National Machine Tool Builders' Association に所属するフライス盤メーカーは'20年代末期、2~25HP のフライス盤用に標準主軸端を制定し、9社から約250種類提供されていたアーバの種類を15の標準アーバに集約させた。標準化がTimken軸受のみにとどまったワケではなかった。cf., *Machinery's Encyclopedia With 1926 Supplement*. Vol. VII, p.339~341.

¹⁶⁶ 段付き歯車が多用されている点にも注目されたい。

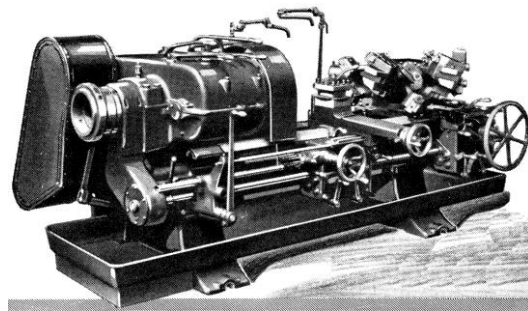


左：早坂『ミリング仕事』5頁，第8圖.

右：長谷川『工作機械設計資料』237頁，第467圖.

勿論，Timken 円すいコロ軸受の工作機械への適用はフライス盤だけにとどまりはしまかった。図VI-2-3はTimken軸受を採用した'20年代のアメリカ製タレット旋盤である。採用部位は高い回転精度と支持剛性とが求められる主軸回りであったと思われる。メーカー名不記載ながら，それがWarner & Swasey Company(米：1980年，Bendix Corporationへの吸収を皮切りに身売りを繰返し，消滅)の製品であったことはほぼ確実である。

図VI-2-3 Timken軸受を採用したタレット旋盤

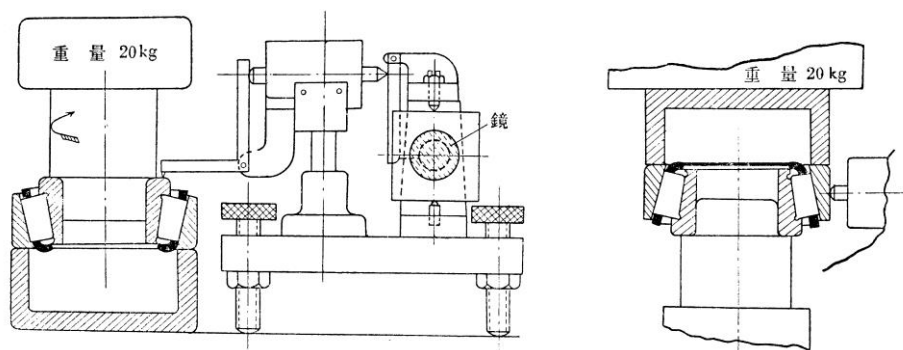


from *Wherever Wheels and Shafts Turn.*, p.43.

図VI-2-4は円錐コロ軸受の回転精度測定状況を示す。工学的拡大装置によってプローブの振動は1500倍に拡大され，記録紙上にチャートとして描き出される。当然ながら，主軸軸受には汎用品よりも精度の高い特製の軸受が必要された。もっとも，主軸の回転精度は軸受単品の性能によって決められるものではなく，主軸と主軸受ハウジングとの中心線を一致させ，かつ，その上に軸受内外輪とコロの円すいの頂点を載せるように持って来ぬ限り高められない。このため，円錐コロ軸受を主軸として用いる場合，その構造は一見，単純明快

ではあるが、これによって高い回転精度を実現するには相当な困難を覚悟せざるを得ない。また、円錐コロ軸受には主軸の熱膨張によって軸受の予圧量に変化を生ずるという固有の悩みも付帯する¹⁶⁷。

図VI-2-4 円錐コロ軸受の回転精度測定状況



佐々木『工作機械総覧』77頁，第88圖¹⁶⁸。

当然ながら、軸受メーカー側も努力を怠るワケはなかった。かくて、'60年代においては：
従来の円スライコロ軸受は高精度のものは製作上困難であつたが、最近では技術が大幅に向上したためこれらの難点はまったくなく **BAS 5** あるいは **7** のものを使用すれば充分高精度な主軸が得られ、第荷重に耐えうるという利点とあいまって最近では一段と需要が増している¹⁶⁹。

と総括されるような状況が出来していた。

蒸気タービン関係の工作に立ち返れば、ケーシングの合せ面はプラノミラによって、そのグランド部は横中ぐり盤によるラインボーリングによって切削され、研削仕上げされた。これはレシプロ蒸気機関のベッドにおける架構合せ面や主軸受サドル部と同じである。

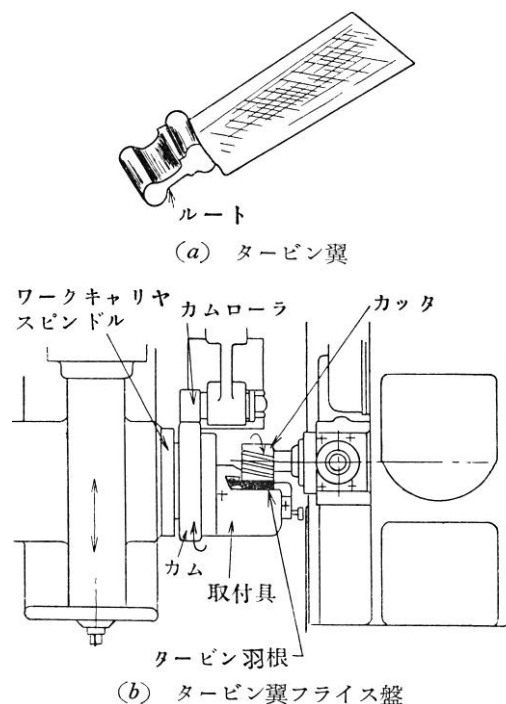
他方、戦後、ガスタービン動翼の工作には図VI-2-5に示されるとおり翼根部分にブローチ加工(a)が、翼部に倣いフライス削り(b)が採用されていた。これは耐熱合金の精密鑄造以前のガスタービン動翼工作状況であるが、同時代の蒸気タービン動翼加工もほぼ似たような手管を用い、あるいはそれを模索していたはずである。

¹⁶⁷ Koenigsberger・塩崎 進訳『工作機械の設計原理』287~288頁，参照。

¹⁶⁸ 佐々木は商工省機械試験所技師。

¹⁶⁹ BAS規格(Bearing Association Standard)5, 7はアメリカ規格協会の規格に準じたわが国の工作機械用軸受規格で、5はJIS精密級より高く、7はJIS超精密級より高い精度となっていた。引用と共に前川良雄「工作機械用の精密軸受について」マシナリー編集部『軸受』小峰工業出版，1964年，所収，参照。前川は光洋精工(株)(→ジェイテクト)技師。

図VI-2-5 倣いフライスによる戦後のガスタービン動翼工作(b)



日本機械学会 内燃機関部門委員会『内燃機関』下巻, 623 頁, 第 15・135 図.

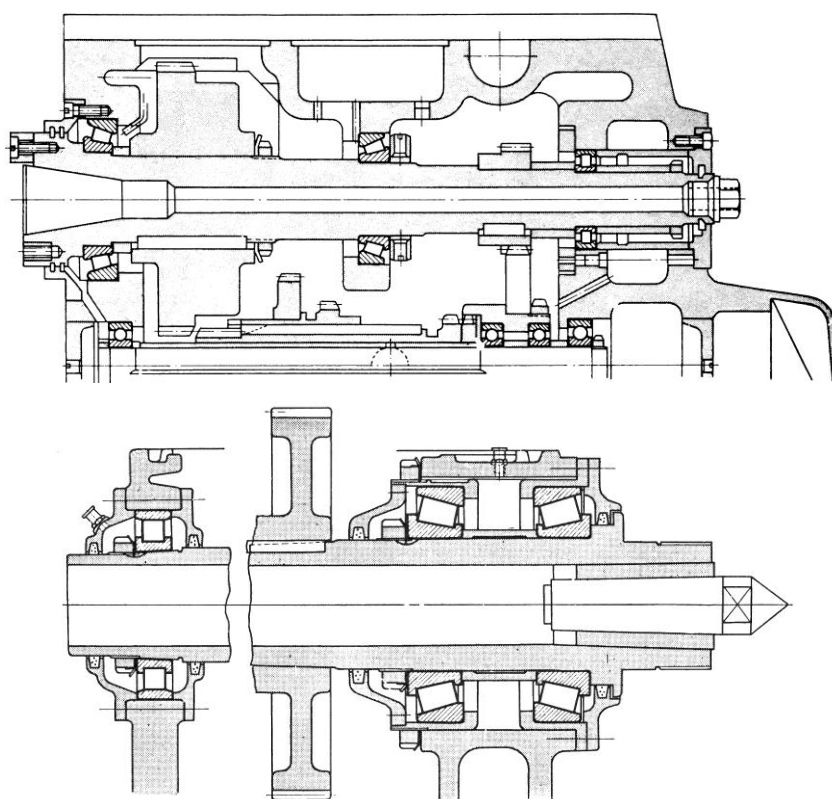
このような時代, 従来から, とりわけフライス盤についてはドイツにも増してアメリカの強い影響下にあったわが国で主流を占めていた重切削用工作機械の主軸軸受はやはり円錐コロ軸受であった¹⁷⁰.

図VI-2-6 上は'60年代初期の国産平フライス盤用主軸の, 同下は同じ頃の旋盤用主軸軸受の 2 例を示す. これらは日本精工の製品で, いずれにおいても要衝を占めるのは円すいコロ軸受であった¹⁷¹.

図VI-2-6 '60年代初期, 日本精工製の平フライス盤用(上)および旋盤用(下)主軸軸受

170 創生期から敗戦直後までの本邦工作機械技術史については日本機械学会『日本機械工業五十年』1949年, 第10章, 参照. 池貝鐵工所はKearney & Trecker (Milwaukee), 東京瓦斯電気工業(→日立精機)はCincinnatiに永らく範を採り, その後も後者の高速ヒザ型フライス盤が各社で試作された. その後, 重点は生産型平フライス盤(特定型→戦時型)へと移行したが, それらは依然としてアメリカ機をモデルとする簡易型であった.

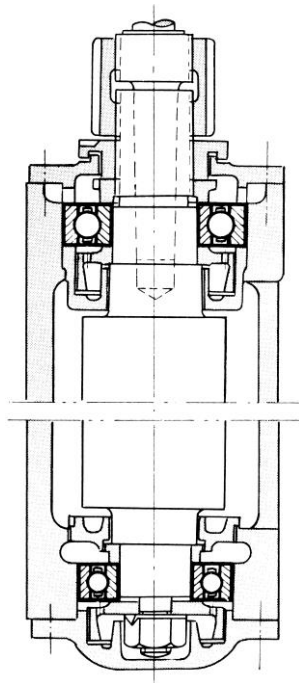
171 なお, 出典文献である日本精工(株)『NSK コロガリ軸受取付図例集』1963年, 17頁に図28として複列円筒コロ軸受とスラスト玉軸受とを併用した旋盤の主軸が掲載されていることも事実であることを付言しておく.



日本精工(株)『**NSK** コロガリ軸受取付図例集』18頁, 図30, 17頁, 図27.

このことは同社より「比較的高速回転軽荷重」の縦フライス盤用の主軸軸受として図VI-2-7のごとき深溝玉軸受のみによる構成が提案されていた事実からも窺える点である.

図VI-2-7 日本精工製の「比較的高速回転軽荷重」縦フライス盤用主軸軸受の例

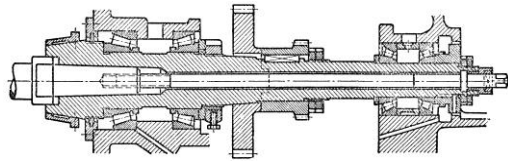


同上書, 19 頁, 図 31.

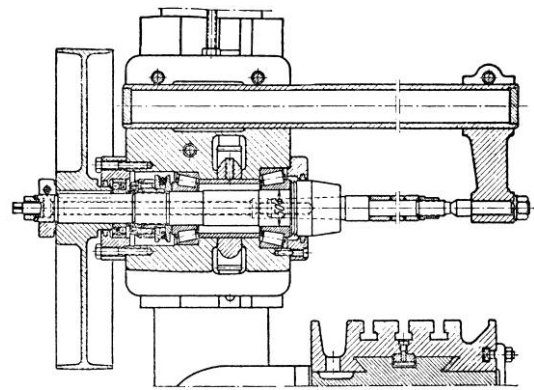
これに対して, 原著が 1936 年に刊行されている Schlesinger の書に紹介されている円すいコロ軸受を用いた主軸はドイツ企業製の平フライス盤主軸が 2 例(図VI-2-8), ドイツのころがり軸受メーカー, Kugelfabrik Fischer(F.A.G.)の単列円すいコロ軸受とスラスト玉軸受, 円筒コロ軸受を用いたボール盤用主軸らしき製品が 1 例, Karl Wetzel 製の横中ぐり盤が 1 例のみ, あとはすべり軸受が大勢を占めている¹⁷².

図VI-2-8 Schlesinger が紹介した平フライス盤用円すいコロ軸受式主軸受

¹⁷² G., Schlesinger/森・若林・鈴木『工作機械』第二巻 講義編Ⅱ, 420 頁, 第 561 圖, 423 頁, 第 569 圖, 436 頁, 第 587 圖, 同書第四巻, 圖表編, 圖表 24, 参照. 第二巻, 432 頁には第 581 圖として主軸プーリーを正面取付けの円すいコロ軸受で挟む
Gildemaister und Comp. A-G.の設計例の紹介を見るものの, 主軸自体の支持はスラスト玉軸受と円すい面を持つすべり軸受による構造となっている. また, 435 頁には変速機における使用例が第 586 圖として掲載されており, これは第四巻, 圖表編の圖表 4(Gebr. Boeringer G.m.b.H.の旋盤用 Norton 式送りネジ歯車箱……Norton 円筒研削盤の主軸変速機構を旋盤用に模倣したモノ?)に酷似している.



Müller & Montag



Wanderer Werke A.-G.

G., Schlesinger/森・若林・鈴木『工作機械』第二巻 講義編Ⅱ, 420 頁, 第 561 圖, 423 頁, 第 569 圖.

理解に苦しむのは Schlesinger が図VI-2-8 の両者について、「ころ軸受の軸長が短い事は自動調整の點からは望ましいものである。従てこの目的の爲には單列勾配ころ軸受(第 561 圖)の方が複列のものより勝れてゐる。併し乍ら軸を案内するといふ點では後者の方がより正確である(第 569 圖参照)」(420 頁)などと述べている点である。

「ころ軸受の軸長」というのも「自動調整」というのも珍妙な表現(翻訳?)である。しかし、論点は軸受の角すきまの大小、即ち自動調心性に類する機能の多寡にあったかと思受けられる。それならそれで構わぬが、問題は工作機械の主軸に大きなたわみを、その主軸受に大きな角すき間を付与して一体何の足しになるのか、である。“工作機械に良否なし。適否あるのみ”の箴言を想えば、ヤツツケ仕事向きのガタガタのフライス盤が在ってもよろしい、との謂いだったのであろうか？ 実際、この著者は第 560 圖として複列自動調心ころ軸受を前部に有する旋盤主軸(メーカー不詳)の図を掲げることまでしている。それはともかく、主軸受の角すき間が云々されるようなフライス盤にタービンプレードの切削を任せることなどできなかつたことだけは確かである。

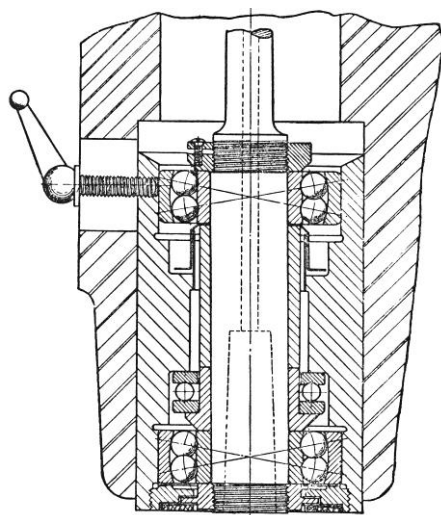
その 6 年後、'42 年に刊行された長谷川編『設計資料』に集成されている各種工作機械を追ってみても、ドイツ製と判別可能な機械の主軸受における円すいころ軸受の使用例は Monarch および Gebr. Böhlinger の旋盤、Wanderer のフライス盤(ただし、Schlesinger の図)の 3 例のみで、まことに寥寥たる有様、主軸受の多くはすべり軸受であつた¹⁷³。

一方、1929 年の資料において堅フライス盤の主軸軸受に図VI-2-9のごとく複列自動調心玉軸受とスラスト玉軸受とを使用していたころがり軸受界の王者、SKF(スウェーデン)は、戦後直ぐの資料によって確認される限り、フライス盤駆動系の軸受に複列円筒ころ軸受、スラスト玉軸受、アンギュラ玉軸受、深溝玉軸受の使用を推奨し、かつ、そのような主軸ユニットを製品化するに至つていた(図VI-2-10)。これは 16 年後の資料に観た日本精工の製品例

¹⁷³ 長谷川編『工作機械設計資料』63 頁, 第 75 圖, 第 76 圖, 82 頁, 第 138 圖, 参照。

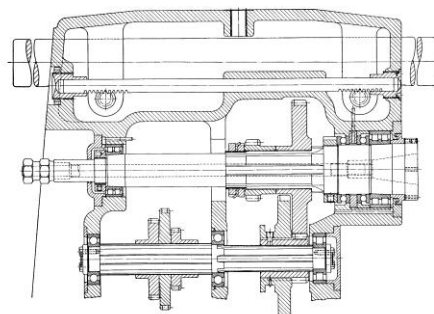
と同様、円錐コロ軸受の内輪大ツバ部に生ずるコロとの特殊なすべり接触を嫌うがゆえの、そして高速化に向けては好適の選択であった。

図VI-2-9 縦フライス盤主軸へのSKF自動調心玉軸受とスラスト玉軸受の適用(1929年)



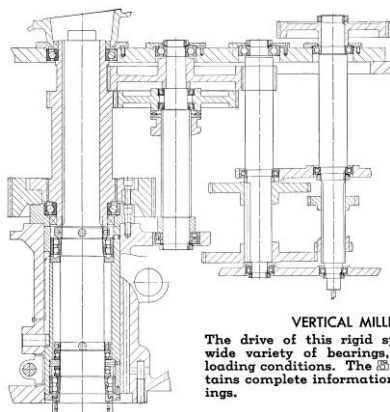
A., W., Macauley, *Handbook on Ball and Roller Bearings*. London, 1929, p.254 Fig.278.

図VI-2-10 フライス盤へのSKF複列円筒コロ軸受と各種玉軸受の適用(1947年)



HORIZONTAL MILLING MACHINE

Spindle rigidity is an absolute necessity for milling machines. The machine must be able to take light or heavy cuts as well as variations in speeds and feeds. Experience has shown that only this SKF spindle design can take these extreme conditions without bearing adjustment and without excessive temperature rise.



VERTICAL MILLING MACHINE

The drive of this rigid spindle design, shows the wide variety of bearings, used to satisfy specific loading conditions. The SKF General Catalog contains complete information on these standard bearings.

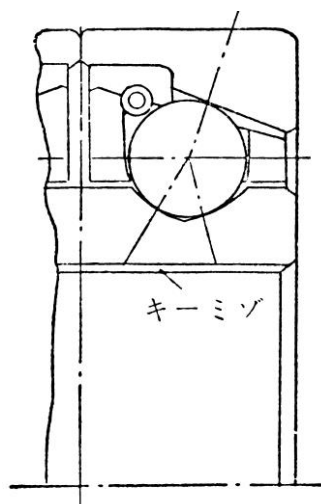
from SKF Industries, Inc., *SKF Machine Tool Bearings and Spindle Design*. Catalog No.272, 2nd., ed., Pennsylvania, 1947, p.18.

アメリカにおける Timken の存在感と同様、欧州においては総じて SKF の影響力が強く、欧州工作機械メーカーは戦後、これに倣ってすべり軸受からの転換を果す者が続出した。もっとも、SIP のジグボーラはその主軸に複列円すいコロ軸受を使用していた¹⁷⁴。

¹⁷⁴ 橋本三男「コロガリ軸受を使用した工作機械の主軸構造について」マシナリー編集部『軸受』所収，参照。橋本は日立製作所技師。なお，廣海軍工廠工作機械実験部では SIP

なお、円すいコロ軸受の内輪大ツバとコロとのすべり接触を嫌う余り、高速回転を至上命題とする研削盤のメーカーとしても鳴らした Ex-Cell-o は“エキセロ軸受”と通称される円すい玉軸受とも呼ぶしかない、一寸見、冗談かと想われかねぬ精密軸受をその研削盤の主軸受として採用していた時期がある。“エキセロ軸受”は図VI-2-11 に示されるとおり、内輪一体、外輪分割型の複列軸受である。

図VI-2-11 Ex-Cell-o 軸受



前川「工作機械用の精密軸受について」図7.

その内輪の軌道は断面が2円弧型になっており、玉と2点で接触する。内外輪と玉とは都合3点で接触するため、玉の真球度は長く保たれるとの主張がなされていた。外輪同士の合せ面には微小なすき間が設定されており、取付時、このすき間を0に迫込めば適正な予圧が得られるよう配慮されていた。保持器は布入りベークライト製のもみ抜き型で、鋼球の脱落防止のためコイルバネが巻き付けられていた。その内容に立ち入れば“エキセロ軸受”はまさしく冗談どころの存在ではなかった事実が判明する。しかし、そんな“エキセロ軸受”も軸受工学界で話題にすら上らぬ存在となってすでに久しい。

今や、旋盤には“円筒コロ軸受+アンギュラ軸受”，マシニングセンタにはアンギュラ軸受ないし“円筒コロ軸受+アンギュラ軸受”が、円筒研削盤には静圧油軸受、内面研削盤にはアンギュラ軸受が用いられ、特に高速回転を狙った主軸受には内輪を省略し主軸の一部

ジグボラの模倣国産化が試みられたものの、実現には至らず仕舞いであった。「事前調査を終り分解再組立まで完了したが、分解前後の精度に影響なかったのには驚いた」との回想が記されている。山本前掲「工作機械実験部の回想」，参照。

を内輪として用いることによって小径化したそれ(前掲図Ⅲ-2-10 と同じ趣向)が用いられた例も報告されている¹⁷⁵.

また、高速型アンギュラ玉軸受には遠心力を小さくするために軽いセラミック(窒化けい素)球の使用が一般的となっており、当然ながら、それぞれには摩擦損失低減に適した潤滑システムが付与されている。また、超精密加工機の主軸受としては静圧空気軸受や磁気軸受が標準的に使用されるに至っている。

かくて、往時、最もシンプルかつ高剛性の主軸ユニットを実現するがゆえに、アメリカおよび日本において全盛を誇り、今も中量級以上の自動車におけるホイール・ベアリングや鉄道車両のアクスル・ベアリングとして絶対王者であり続ける円すいコロ軸受は桁違いの高速化へのその不適合性ゆえに、工作機械用主軸受としては一顧だにされ得ない存在へと転生せしめられてしまったワケである¹⁷⁶。

なお、主電動機がインバータによって無段階に速度制御される誘導電動機に置換えられたこと、更には主軸自体が駆動電動機のロータを兼ねるビルトイン式主軸駆動が普及したことによって自動車のギヤボックスまがいの機械式多段変速機はそれがかつて駆逐した段車の後を追うかのようにして姿を消した。このため、円すいコロ軸受の適用範囲は一層、狭められる一方、送り駆動機構におけるリニアモータの普及とあいまって工作機械そのものが躯体構造について観る限り、つまり制御系の複雑高度化とは対照的に、大いに簡素化され、“Simple is best.”を具現するかのような進化を遂げる結果となった。

3. Maag も大形専用機も生きている——船用減速歯車とタービン車室の工作

船用蒸気タービンは、従って大出力船用減速装置は戦後、絶滅危惧種化への途を歩んで来たが、とにもかくにもその減速歯車の工作には一貫して Maag Gear Wheel Co. Ltd.(スイス)の歯切り盤と歯車研削盤とが愛用されて来ている。そこに示されているのは極限技術な

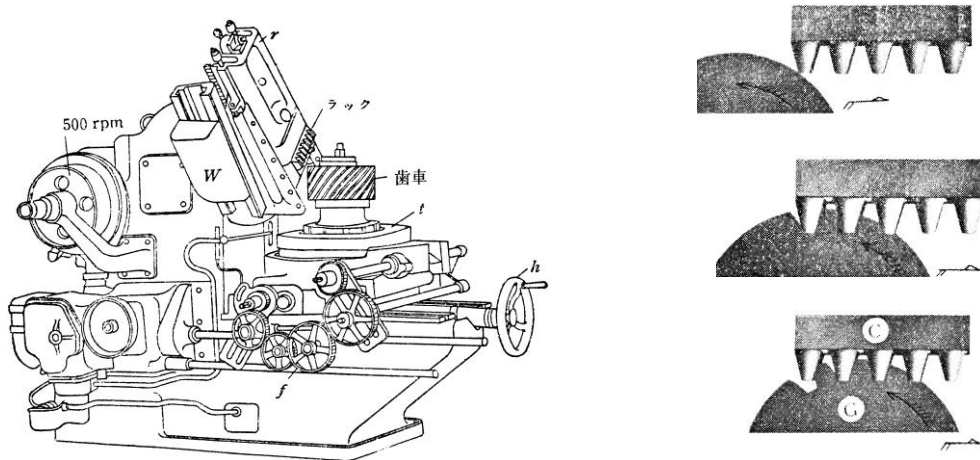
¹⁷⁵ 主軸にアンギュラ玉軸受の内輪軌道面を兼担させる合理的手法が工作機械方面で普及しないのはその生産量の乏しさが一因であろう。小形自動車用の前後ハブ・ベアリングにおいてはアンギュラ玉軸受を2個、対向させつつ、ハブと一体化されたスピンドル(ハブシャフト=短い車軸)を外側軸受の内輪として用いる HUB ユニット軸受が'87年投入の第3世代以降、汎用されている(内側内輪は勿論、別体)。その狙いはコンパクト化、部品点数削減と予圧設定の不要化による組立性向上にあった。日本精工(株)『日本精工 100 年史 1916-2016』経営通史編・技術史編、2018年、550~551, 571~573, 603~606 頁、参照。

¹⁷⁶ 精密工学会 PS 専門委員会編『PS 全書 3 先端技術を支援する機械要素』日経技術図書、1992年、1~5, 9~29 頁、日本工作機械工業会『工作機械の設計学(基礎編)』95~106 頁、同『工作機械の設計学(応用編)』2003年、179~181 頁、参照。

らではの貫禄そのものである。要するに、「他のモノでやれるものなら、やってみろ」ということである¹⁷⁷。

図VI-3-1 は高精度歯切り盤の代表格である Maag の歯切り盤を示す。この歯切り盤はラックカッタの歯筋方向の往復運動とギヤブランクの回転とによって創成歯切りを行う一種のギヤシェーパである。Maag のそれは堅型機で、Maag Gear Planer と呼ばれている。本機はラックとブランクとを噛合い状態に保つようにブランクを回転させながらブランクの方を横に送ることで創成歯切りを行う。ラムには早戻り機構が備えられている¹⁷⁸。

図VI-3-1 Maag の歯切り盤とラックカッタによる歯切り



左：伊藤・川崎『機械工作法』下巻，467 頁，第 14・26 図。

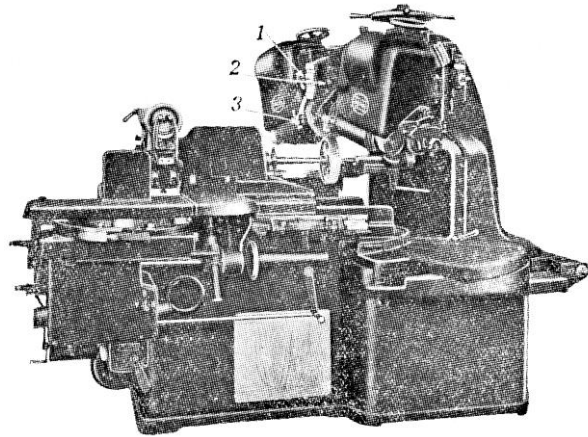
右：溝口良吉『歯切機械及歯切法』共立社 實用機械工学講座，第九巻，1935 年，53 頁，第 49 圖(元図はデタラメなので修正し，順番も入換え)。

図VI-3-2 は Maag 歯車研削盤の外観を，図VI-3-3 はその作用原理ならびに砥石車間隔の修正機構を示す。

図VI-3-2 Maag 歯車研削盤の外観

¹⁷⁷ Maag や Maag Gear の技術史については拙稿「呉海軍工廠砲煩部におけるマージ・ギヤの国産化を巡って」(→IRDB)，参照。

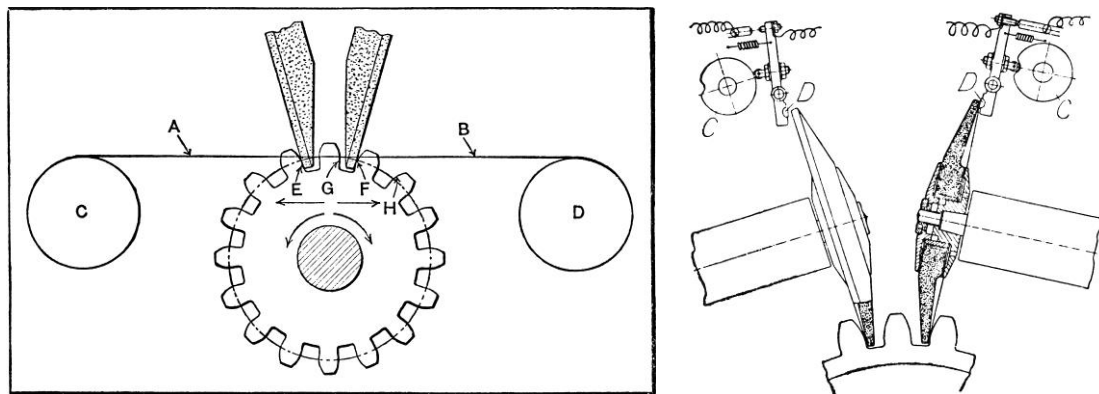
¹⁷⁸ これに対して，Sunderland 型(英：横型)はブランクを回転させつつラックを載せたラムをラックの長手方向に送る。Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement. Vol.III pp.342~343 には Sunderland 型らしき歯切り盤とラックカッタを 2 本有するタイプのみが解説されている。Robert S., Woodbury, *Studies in the History of Machine Tools*. も歯切り盤の p.105 にて Sunderland についてのみ言及している。ラックカッタ式ギヤシェーパに関して Sunderland の方にプライオリティーがあることは事実である。



同上書, 482 頁, 第 14・54 図.

図VI-3-3 左に観るように, 歯切りされた歯車はカムによって往復動せしめられるテーブル上に置かれたアーバにセットされる. 2 枚の皿型砥石車の研削面(平面側)は歯形の圧力角に沿って配置されており, アーバには歯車のピッチ円に等しい直径のドラムがセットされている. A, B は鋼のテープで, 一端はこのドラムに巻付き, 他端は固定円盤 C, D に巻付いて止められ, ドラムと円盤 C, D とに対する接線をなしている. テーブルの往復動に同調して歯車はテープによって揺動せしめられ(首を傾げながら左右にステップを繰返すようにして), 歯面 E, F が仮想ラックの歯面に相当する砥石車研削面と交互に接することによって創成研削が行われる.

図VI-3-3 Maag 歯車研削盤の作動原理



左: *Machinery's Encyclopedia With 1929 Supplement*. Vol. III p.385 Fig.6.

右: 山本『歯切仕事』222 頁, 第 294 圖.

図VI-3-3 右に観るように, 砥石車研削面の相互間隔は附属のダイヤモンド・ツール D によって微修正される. 即ち, 6(戦後の文献では 4 あるいは 3)秒間に 1 回, 板カム C が回転

し、弱いバネの作用によりレバーのローラはカム溝に落ち、ダイヤモンド・ツール *D* は回転している砥石車に接触する。この時、砥石の研削面に摩耗がほとんどなければ *D* と研削面との接触は板カム *C* の回転によって一瞬の内に終了する。

砥石の研削面がある程度以上に摩耗しておればレバーは余分に傾斜して電氣的接点が閉じられ、この電機信号によって砥石軸はラチェット機構によりごくわずかに、砥石車の相互間隔を $\frac{1}{1000}$ mm だけ広げるように引かれる。これによってダイヤモンド・ツール *D* による砥石車研削面の微修正が開始されるものの、板カム *C* の回転によって直ぐに接点が開かれるため、この微修正も一瞬にして終る。上記のように、研削面の摩耗がごくわずかであれば接点は閉じられるに至らぬため砥石軸は後退せず、*D* と研削面との接触圧も軽微なままに推移するため微修正は行われなかったワケである。なお、この微修正は研削面相互間隔の保持を主たる目的とするごく軽い研削で、左右両側面と外径の本格的な修正のためには別途、ダイヤモンド・ツール 3 個が用意されている¹⁷⁹。

Maag 歯切り盤、歯車研削盤による船用蒸気タービン減速歯車の歯切りおよび研削状況について紹介しておこう。工作はブルギヤなら直径数メートルにおよぶそのブランクを芯まで 20°C にするため、恒温室に一週間ばかり安置し、同じ温度に管理された隣の恒温室に移して行われる。

焼入れは全く別の現場で実施され、爾後の温度管理については同様の処置が行われているらしい。歯切りを行っている隣の恒温室では研削が行われていた。Maag 歯車研削盤が最高の工作精度を発揮する歯車形削盤であることは斯界の常識であって、往時は Rolls-Royce あたりでも Merlin 航空発動機のヘリカルギヤの仕上げに小形 Maag 歯車研削盤を使用し、3 回転で粗研削、1 回転を仕上げ準備研削、最後の 1 回転を仕上げ研削に充てていたものである¹⁸⁰。

「航空廠【第 11 航空廠＝海軍廣工廠】において高精度歯車の製作にあたり、切【研】削にはマージ社製のギャグラインダーを相当量使用していた」とった回想が残されているところからして、わが国の航空発動機工場一般においても同種の Maag 歯車研削盤は汎用されていたと考えられる。しかし、それらは当然ながら、R.R. の工場と同様に、厳格な温度管理がなされていない工場においてであった。小さな歯車でもあったから、その程度で事足りたのであろう¹⁸¹。

179 戦後の文献とは伊藤・川崎『機械工作法』下巻、481 頁、日本機械学会 工作機械部門委員会『工作機械』306 頁、を指す。自動修正の停止に係わる後者の説明は明らかな誤りを含む。

180 和田 正譯「ロールスロイス航空発動機の製作（續）」『内燃機關邦譯文獻集』第 8 卷 第 5 號、1940 年 (*Machinery*, 1940 年記事の翻訳)、参照。

181 引用は桑名良造「業務報告（仮題）」長尾編『廣海軍工廠工作機械實驗部回想記』所収。【】内、引用者。

歯切り、研削いずれにおいても工作は熱発生に気を遣いつつ、静々と行われる。歯車研削はドライ研削で、繊細な音とともにわずかな火花を数回飛ばしては一旦間を置き、また研ぎにかかるといった具合に厳粛きわまる工作風景が展開されていた。その精度において Maag を超える歯車研削盤は今日においても存在せず、また、ここまで入念精緻な工作をせぬ限り高負荷・高回転に耐える疲労強度を備えた巨大な歯車は得られない。

減速歯車の寿命は歯面の摩耗ではなく歯の疲労寿命によって規定される。精度が低ければ騒音や船体振動の原因になるばかりか、本邦初の 1 段減速装置を備えた 1913(大正 2)年 1 月進水の東洋汽船 安洋丸など、その処女航海で歯車の欠損事故を起したほどである。これが学会、業界に投じた衝撃を機縁に国産船用歯車減速装置の進歩が促されたことは勿論、事実である。しかし、後の日本海軍艦艇においてさえ「ひどいときは一航海で駄目になる」ような事蹟は経験されている¹⁸²。

単に大きいというだけならセメント焼成用ロータリーキルンの駆動歯車も船用減速歯車に決して劣らぬが、極低速回転で用いられるため、その生涯における累積回転数は高が知れており、その工作精度が船用減速歯車に比して格段に低くとも長期の実用に耐えるワケである¹⁸³。

現今、LNG タンカーに汎用されている船用蒸気タービンとその減速装置とを製品としてラインナップしているのは世界でもわが国の 2 社のみとなっている。ところが、日本海軍時代の経験さながら、ライバルの製品に重大なトラブルが発生し、川崎重工業にその分の代替生産が求められたため、川重の減速歯車ショップが繁忙を極めている……このように聞かされたのは 21 世紀に入ってしばらくしてからである。無論、その後、事態は速やかに復旧したようである。

今や、船用蒸気タービンは絶滅危惧種化の危機に瀕している。商船用船用蒸気タービンそのものにはコンバインド・サイクルのボトムリング用として生き残る途も残されていようが、この場合には近年の原潜などと同じく発電機との直結になるから、高級・高精度な歯車式減速装置は無用化する。そのあたりがさしもの Maag の大形歯車加工機にとっても転機となり得ようか？ 振り出しに戻ることになるが、工作機械は“母”として君臨すべき存在など

¹⁸² 安洋丸については造船協会編『日本近世造船史(大正時代)』1935 年原刊、原書房復刻 1973 年、510~511 頁、成瀬政男他「機械要素」(『日本機械工業五十年』所収)、844 頁、参照。引用は相良利夫「海軍で体験した工作機械技術」長尾編『廣海軍工廠工作機械実験部回想記』所収、より。

なお、廣工廠工作機械実験部においては Maag 歯車研削盤の模倣国産化が志向され、三井精機、安川電機、NTN がこれを担当したものの、一応、砥石軸回りの試作には漕ぎ着けたものの、完成には至らなかった。『廣海軍工廠工作機械実験部回想記』15, 25, 26, 32 頁、参照。

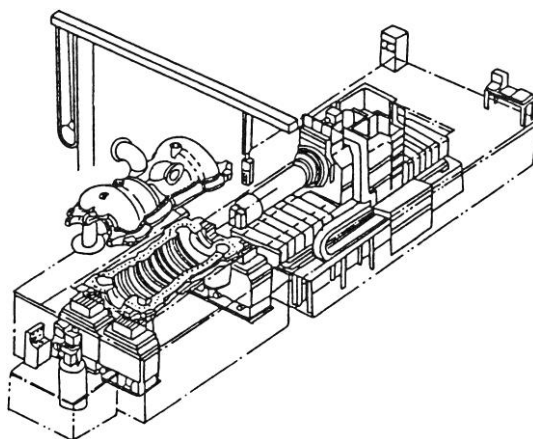
¹⁸³ 川崎重工業での見学、聴き取りによる。

ではない。所詮は是非とも造りたい“何か”があつてこそ求められるもの、それが工作機械だからである¹⁸⁴。

他方、陸用蒸気タービンは今後とも事業発電用大出力原動機界における不動の王者であり続ける。その翼材には現在も海軍が不銹鋼乙と称した 13Cr 鋼とほぼ同じ 12Cr 鋼が使用されている。中量以下の生産規模となるその工作には FMS が活用されており、短い翼は棒材から削り出され、300mm を超える長い翼は材料節約のため型鍛造粗形材から削り出されている。

巨大な翼車一体軸は当然ながら今も自由鍛造によって調達されており、日本製鋼所 M&E 株式会社は斯界の世界的リーダーである。軸の工作は CNC 旋盤により、高圧部 Mo 鋳鋼製・低圧部鋼板溶接構造の車室合せ面の切削には NC プラノミラ、軸受孔の工作には主軸頭移動型の専用 CNC 横中ぐり盤(図VI-3-4)が活用されている¹⁸⁵。

図VI-3-4 大形中ぐり盤による車室の中ぐり



ターボ機械教会編『ターボ機械応用編 蒸気タービン』231 頁，図 8.8(b)，より。

説明字句は煩瑣で誤植もあるため抹消した。

184 船用歯車減速装置については高速ガソリンならびにディーゼル・エンジンや中速および小ぶりの低速ディーゼル・エンジンにおいても広範な使用例が認められる。総合推進効率を高める必要上、今後ともそれらは生き残ること必至であるが、それらの出力レンジは減速型低速ディーゼルの例においてさえ船用蒸気タービンのそれに比すれば小さく、減速大歯車の直径も巨大との形容には程遠い。なお、減速大歯車のサイズによって規定された船用蒸気タービンの出力上限を超えて久しい大形低速ディーゼルはプロペラ直結駆動に帰一している。

185 ターボ機械教会編『ターボ機械応用編 蒸気タービン』日本工業出版，1990 年，226~231 頁，参照。

5 面加工機と呼ばれる巨大な竪型マシニングセンタと適合するアングルヘッドとを用いれば、この2つの工作ができぬワケはない。しかし、それではとてもソロバン勘定が合わぬという理屈であろう。

むすびにかえて

今や、複合加工機全盛＝汎用工作機械絶滅危惧種化の時代である。中量以下の生産においてはその複合加工機さえ3Dプリンタに足許を脅かされかねぬかのように囁かされているものの、ほとんど何でも造り得るとの形容さえ過言でない複合加工機が機械工作の主要領域においてさまで簡単に王座を譲り渡してしまうとは想えまい。

ほとんど何でも造り出す複合加工機は天才も凡才も、悪人も善人も生んでくれる母に近い存在となった。それは人類がようやく手にした“特定の何をか造らんがために創造された機械”の枠を超えるものであり、これこそが“マザーマシン”の名に値する機械であるのかも知れぬ。もっとも、かの対応邦語の当否は別として、そこで“copying principle”が云々されるとすれば、この言葉は“機械に投入される三次元座標データと完成ワークの実測寸度との間に観測される劣化”を表現する概念として呑み込まれるのが至当であろう。

ただし、今を時めくCNC複合機群があくまでも使い捨ての対象として短命に造られた機械になり下っている趨勢については誰しも否定できまい。古典的工作機械や内燃機関を典型に、それを拵えた有名無名のメーカーが廃業した後にもお国柄とメーカーの個性とを色濃く体现するその作品が生き永らえて社会に貢献を重ねる傍らで何処かの誰かがそのパーツを供給し続ける……機械の世界においてずっと当たり前であったかような光景も近い将来、昔話と化してしまうことであろう。

ここで観て来たように、技術文明の原動力をなすエネルギー変換装置を汽船や蒸気機関車という形で社会生活の眼に視える舞台へと引出し、更には自動車という形で内燃機関を大衆化させた蔭の功労者は構造技術、即ち営々として築かれて来た材料技術と工作技術との2重らせんの進化であった。大物・小物部品のコストパフォーマンスがある水準に達しない限り、いかなる優れたアイデアといえども画餅のままに終る。

今や、汽船や蒸気機関車や大出力ピストン航空発動機はほぼ遺物の域に近付きつつある。そして、温暖化・気候変動にまつわる国際機関、国家、マスメディア総動員のもとに怪し気な大合唱とデジタル化への最大律に流され、内燃機関、それも十全の排出ガス浄化機器を満載し得る乗用車用ガソリン・エンジンまでもがCO₂の発生源として忌避の対象となり、電動システムによってこれを駆逐せんかといったムードに圧迫されつつある¹⁸⁶。

勿論、内燃機関の過剰利用は有毒排出物や資源といった問題に鑑みても厳に慎まれるべきである。しかしながら、肝銘されるべきは、エネルギー消費原単位と環境負荷発生原単位とを見かけ上、最小化してくれるかのごとき技術は——こと内燃機関といった特殊事例に限

¹⁸⁶ 自然界における最少律と好対照をなす人間界における最大律については前掲拙稿

「“技術の生命誌” 試論」、参照。なお、ディーゼル排気に係わるナノ粒子問題がいつまで経ってもウヤムヤのまま捨て置かれている件もこの社会の胡散臭さを増幅させる要素となっている。

らず——実はエネルギーの浪費と総環境負荷の昂進とをもたらす傾向を有していること、そして本来、資源や環境容量が有限である以上、未来永劫に持続可能な成長など、いかなる策を弄しようとも叶わぬのが道理ということである¹⁸⁷。

されば、何故に^{なにゆえ}CO₂による温暖化・気候変動ばかりが喧伝され、内燃機関が殊更に駆除対象とされねばならぬのか？ それは科学の名を借りつつデジタル化、画一化、電動化、自動運転化、つまりはデジタル最大律を追求し、世界的な寡占体制、即ち少数者による一元的デジタル支配を拡大強化する……卑近な例を引くなら Windows か Mac か、Android か iPhone か、といった構図を自動車製造という一大産業分野において再上演し、少数者による経済活動の一元的統御を通じた少数者による世界支配をヨリ実質化するために他ならぬ¹⁸⁸。

それには何よりもデジタル回路にとって忌むべき振動、熱、電磁ノイズの発生源であるのみならず、その本性からして非・寡占的存在である、つまり何処でも自律的かつ弾力的に生産可能な、直截に表現すれば最早、誰かに特許料を支払う義理も大方なければ、やり様次第では比較的少規模の生産技術体系にも乗せやすい原動機たる内燃機関にいま一つの、実は技術文明全体が^{なす}負わされて然るべき大罪を擦り付け、これを重き冤罪に問う所作がどうしても不可欠となるのである¹⁸⁹。

振り返って工作機械業界について観るに、CNC化や変種変量生産について自画自賛するのも結構ではあるが、所詮、その実態は大量生産、スケールメリットがモノを言う世界でなされる“ゴマメの歯ぎしり”、“石亀の地団駄”でしかない。その証拠に、工作機械を造る方にしても遣う方にしても、頑張るほどにその利益率は低くなっていよう。さればこそ、造る方では個性乏しき弱者たちの連合ばかりが流行るワケである。

確かに、高速マシニングセンタや、部分的にはそれをも凌ぐCNC 8軸自動旋盤の器用さと生産性には瞠目させられざるを得ぬが、遣う側を観やるに、部品メーカーが左様な利器を導入したところで、所詮、発注元に足許を見られるのがオチである。更に、偏執的デジタル化、電動化と内燃機関の排除を通じて多くの専用機、複合加工機はMaagの歯車研削盤などとは比べ物にならぬほど呆気なく死滅へと追込まれるであろう。

だが、この変化はそんな些事には止まらぬ。情報通信・制御技術の万能性神話に依拠するデジタル化、電動化、5G化、自動運転化は甘い短期的効能の背後にエネルギー変換段数の追加に伴う非効率化、電磁波汚染、山なす電池の粗大ゴミ、製品自体の高い劣化速度とこれを

187 これについても前掲拙稿「“技術の生命誌” 試論」、参照。

188 左翼の論客が幼稚な気候変動論の大合唱に易々と包摂されるのは手頃な資本主義批判の論点を欠くその台所事情と全体主義的志向に根差すその本質とが相乗した結果であると診立てて大過無い。

189 高炉製鉄法の害悪視と直接還元製鋼法への誘導機運も所詮、その本質はこれと同根である。

織込んだ製品ライフサイクルの短小化ならびに強権的スクラップ&ビルドの制度化、議会の株主總會化、社会の管理化・監視化・全体主義化と大衆の家畜化といった中・長期的観点からの害悪を必ずや伴う。デジタル最大律の追求に対して我々はあらゆる機会、経路を通じて反対し続けなければならない。さもなくば、長い暗黒時代の到来は不可避である。

デジタル依存症を蔓延させ、生産現場を御利益乏しき変種変量教に帰依させた人間の即物的欲望こそは諸悪の根源であった。“日本で自動車を造ることはアメリカで畑を耕すことと全く同じ”などというエコノミストの駄法螺がこの国においては火に油を注いでしまった。しかしながら、即物的欲望追求の大衆化も成就しかけた支配層の一元的統御願望もやがては安価な石油によって促成された槿花一朝の夢として散る秋を迎える。

自動運転装置や CNC 工作機械の制御装置に組込まれるシステム LSI など天文学的量産アイテムの骨頂であり、とにかく量を出せねば、捌かねば霧散してしまう油上の楼阁の尖塔に過ぎぬ。頼みとする油が切れて制御機構の更新が途絶えれば、夢の管理システムもマシニングセンタもマシニングセルも瞬時にして嵩高い産業廃棄物へと豹変する。技術進化の既定路線に載せられている限り、早晚、誰がどのようにあがこうと何もできず大儲けなどとも一層無縁な八方塞がりの状況に逢着すること必定である。

しかし、これまで観て来たように、石油が高価であった時代を生き残った人々が残してくれている参考事例に事欠かぬことでもあるから、知恵と理性とを失わぬ限り、人類が本当の意味で全く為す術一つなき閉塞状況に陥るといった事態は回避されよう。そして、デジタル最大律と少数者による支配に天誅が下った後の未来世界においても、工作機械とその運用技術とが材料技術とともに文明の根底を支える構造技術の基幹、基礎であり続けるのである。