

G.P.用チェーングラインダーのドラムーフ ランジ間における摩耗焼着現象について

大 島 聡 範 *

田 中 義 勝 **

On the Surface Damage of Pulp Making Machine
caused by Frictional Bonds

TOSHINORI OSHIMA

YOSHIKATSU TANAKA

要 旨

某製紙工場において発生した標題現象による事故について調査した結果の一部を報告する。

Synopsis

This paper deals with the investigation of an accident result from above mentioned phenomenon at the certain paper mill manufacturing company.

I 緒 言

製紙用パルプには大別して化学パルプと機械パルプがあり、機械パルプは一般に碎木パルプ、あるいはG. P. (groundwood pulp) と呼ばれている。

今日、G. P. は主に新聞用紙の原料として大量に生産されており、主要なパルプ化法の一つとなっている。G. P. を生産するためにいろいろな型式の碎木機が使用されているが、それらの中で大規模工場で最も多く使用されているのがチェーングラインダーである。

チェーングラインダーはいくつかの点において他の型式の碎木機より優れているが、水の存在下で、回転する砥石（ストーン）に木材を押しつけて摩砕するという根本的な点においては変りがない。

摩砕に要する動力は強大であり、かつ稼動条件が激しいので特殊な方法によって動力を伝達している。しかしそれでもなお部材の損耗が激しい。

某製紙工場において、その点を改善しようとしてさらに工夫を施したところ、特殊な摩耗焼着現象を起こし使用不能に至った。

本稿は著者等がその事故の状況を調査し、原因およ

び対策を検討した結果の一部についてまとめたものである。

II G. P. チェーングラインダーの 原理および構造

G. P. 用チェーングラインダーは別名キャタピラグラインダーとも呼ばれ、我が国では俗にマガジングライナーとも呼ばれている。これにはドイツで開発されたフォイト型と北米で開発されたワーレン型があるが大きな違いはない。

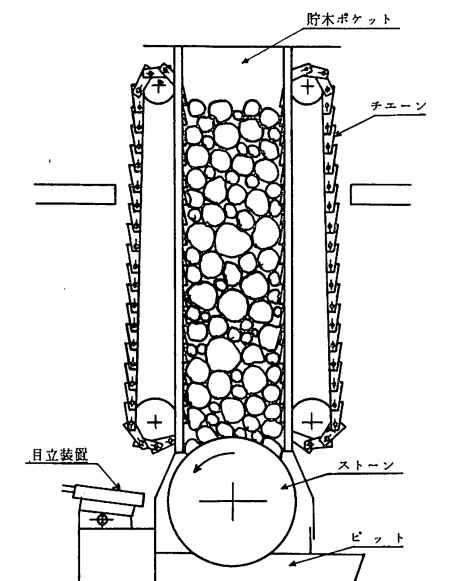
碎木機にはこの他に、多ポケットグラインダー・2ポケットグラインダー・リンググラインダーなどがあるが、単位摩砕面積当たり生産高・動力原単位その他の点でチェーングラインダーが優れているとされており、各国で広く使用されている。

碎木方法はいずれの型式においても、水の存在下で、回転するストーンに木材を押しつけて摩砕するという原理的な点においては相違ない。

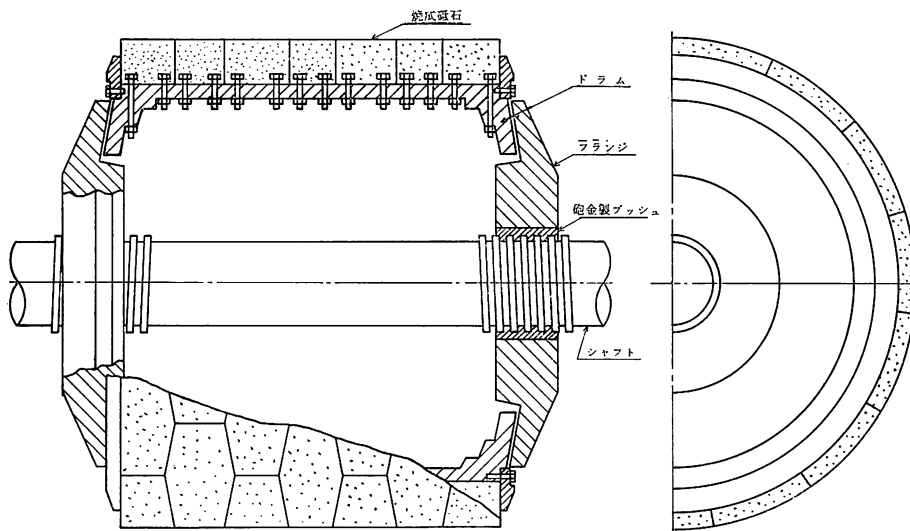
チェーングラインダーの構造は第1図に示すように、主要部は、ストーン・貯木ポケット・チェーン・ビットよりなっている。この他にストーン面に水を注ぐためのシャワーが1～2対取り付けられており、またストーンの目立直しのために目立装置が備えられている。

* 講師 機械工学科

** 助手 機械工学科



第 1 図 チェーングラインダーの概要



第 2 図 ストーンの構造

方シャフトに、凹なる円錐面を有するフランジをネジ部を介して取り付け、ドラムを両端面から締めつける。すなわち、シャフトとフランジは雄ネジと雌ネジの関係を通じて一体となっており、ネジは左右のフランジ取り付け部で各々反対方向に切っている。

締めつけに際しては、ドラム・フランジを固定し、シャフトを回転させることによってフランジはドラムの両端面にはほぼ垂直な力で押しつけられる。なお締めつけは充分に行なわれるようにネジ部には砲金製ブッシュが入れられている。また締

めつけの中の木材はチェーンの回転に伴う圧力によってストーンに押しつけられ、ストーンの回転により磨砕されてシャワー水とともに下のピットに入る。

ストーンを回転させる主動力としては、モーター・蒸気タービンなどが用いられている。その容量はフォイト型の場合 4 フィート (1.2m) 材に対して 900~4000 HP である。

チェーンはオイルポンプまたはモーターによって駆動され、主動力の負荷に応じて調節されるようになっている。

ストーンは一般に 36~80 メッシュのシリコンカーバイド (SiC), または酸化アルミニウム (Al_2O_3) の砥粒を結合剤とともに焼結した焼成砥石を鋼製ドラムの外周にボルト締めにより取り付けられたものである。

碎木機において最も重要な部分はストーンへの動力の伝達機構であって、これは第 2 図に示すような方法によって行なわれている。

鋼製ドラムの両端面に凸なる円錐面を設け、一

めつけにあたっては充分に芯出しを行なう必要がある。この締めつけによって両者の円錐面は密着し、その面摩擦により動力が伝達される。

シャフトの回転方向は実際の作業の場合も同じであるから、木材の磨砕抵抗によってドラム・フランジ間の面圧は著しく増大することになる。

ストーンはシャフトと直角方向に木材の強圧を受けながら、ピット液・シャワー水などの腐食性環境の下で大動力によって稼働しているので、このような方法によってもなお損耗が激しい。特にドラム・フランジの接触面の損耗が著しく、その

ために使用不能になってしまう。使用不能に至るまでの期間はほぼ3～4年である。

以上チェーングラインダーの概要を述べた。次に本稿で述べるフォイト型チェーングラインダーについてその諸元を第1表に示す。

第1表 当該チェーングラインダーの諸元

型 式		フォイトⅥ型
メインモーター出力		2700KW (3600HP)
チェーン速度		37 mm/min
ストーン	回転数	255 r. p. m.
	直 径	1800 mm
	周 速	1440～1310 m/min
摩 砕 域	摩 砕 域 々	1370 mm
	木 材 の 々	1324 mm
ピ ッ ト	温 度	76 ℃
	濃 度	2.5 %
	液 性	pH 4～5
生 産 高		150m ³ /day (59ton/day)

Ⅲ チェーングラインダーの使用状況

Ⅱにおいてチェーングラインダーの原理および構造について述べた。本節では当該チェーングラインダーの使用状況について、特に事故に関連ありと考えられる事項を挙げて述べる。

(1) 稼働時間

操業は平常運転の場合 24hr/day である。但し電力系統の変換のために3～4週間毎に一時的に休止することはあり、これを shut down, 通常 S. D. と称する。この他に2～3日毎にストーンの目立てのために停止する。

(2) 一日処理量

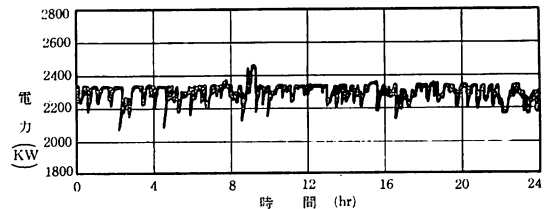
木材量で 59 ton/day, すなわち 150 m³/day を標準とする。これはストーンの摩擦状況により変化するが、上述のデータはストーン面が定常状態となった場合である。

(3) 回転数および負荷変動

第1表に示した如く 255 rpm, 2700 KW で定常運転を行なうものであるが、木材のサイズは必ずしも一定ではなく、一本の木材についても摩砕の進行過程においてストーンとの接触面積は常に変動している。またストーン面の摩耗状況によってかなり相違があるこ

とが認められる。さらに、(1)で述べた S. D. 後では電流のサイクル数が変化する。従って一定回転数を保つためには相当の負荷変動が生ずることは避けられない。

負荷変動状況の一例を第3図に示す。



第3図 負荷変動状況

(4) ビット液による腐食環境

ビット液は pH 5～4, 温度約 76 ℃ の弱酸性液である。ストーンの下半分はビット液に浸漬された状態で回転しているので、ストーンは腐食性環境の下にあることは疑いない。

それに対処するためにストーンのドラムおよびフランジ部はステンレス板でライニングしてある。なおドラムおよびフランジの材質は各々鋳鋼 SC 42, SCA 21 である。

グラインダーの使用条件は以上の如くである。次に当該チェーングラインダーにおいて、フランジの取付け方法を変えた直後に標題の事故が発生したので、この作業の変更状況について説明する。

Ⅱで述べたように、シャフトの回転力はフランジとドラム間の面摩擦によってドラムに伝達されストーンが回転するのである。したがってこのドラムーフランジ間の面摩擦力は非常に大きく、しかもストーンに負荷がかかって回転すればおのずから締めつけ圧は増大してゆくようになっている。すなわち最初のフランジ取り付け作業で充分に芯合せを行なっておけば、あとは操業中の負荷によって更に締めつけ方向の力が加わることに芯狂いは生じないはずである。しかし実際は操業に入ってから約一週間以内で、円周方向に僅かながらズレを生じ、このズレがある程度のところで着着き、ドラムーフランジ間になじみを生じたところではじめて充分な面摩擦力が発生するのである*。これを仮に定常摩擦状態と呼ぶ。つまり、この期間中に芯狂いを生じなければ取り付けは成功したものと考えてよ

* Ⅵの項参照

く、あとは長期間の運転後、微少な fretting corrosion の摩耗が累積してかなりの量のスリップを経てガタを生ずるまでの期間使用することができる。

問題は定常摩擦状態に達した後芯狂いの発生が判明した場合、および締付けが充分でなくスリップが生じている場合である。この場合には直ちに運転を中止し、改めて芯合せ作業を行なわねばならない。これには莫大な工数を要した運転休止による操業成績へのマイナスも大きい。過去の例では取り付け芯合せ後定常運転に入ってから約2割程度が芯狂いを生じた。これは殆どの場合、S. D. または再目立後の始動時に発生していた。

この点を改善しようと試みられた方法がフランジとドラムをピンで固定することである。

理論的にはドラム・フランジ間がピンで固定された場合、両者間でのスリップが防止され、シャフトの回転によってフランジの受ける力の方向は面に垂直であり、面摩擦力の増大に寄与するはずである。

固定方法は、先ずフランジとドラムを芯合せした後充分に締めつけておく。その後フランジからドラムへ貫通する 38mmφ のキリ穴をあけ、S 35 C 生材の丸ピンを打込む。ピンが穴の底まで達した後、頭はフラ

ンジ面から突出しないように切断する。この後腐食防止のためフランジおよびドラムの外面をステンレス板でライニングする。

ピンはフランジの円周方向に等間隔に6本打込まれた。この総計の剪断強度は、ドラム・フランジ間の面圧が仮にゼロとなっても、起動時および運転中の負荷に耐えて回転力を伝達し得るように充分の安全率を見込んである。

このような作業を施した後運転を行なった。ところが予期に反して数時間の運転の後、異常音を発しはじめ、芯狂いはなはだしく、打込んだピンはステンレスライニングを突き破って抜け出し、あるいは剪断破壊する等異常な現象を生じ、部材の損傷はなはだしく、直ちに運転中止の止むなきに至った。

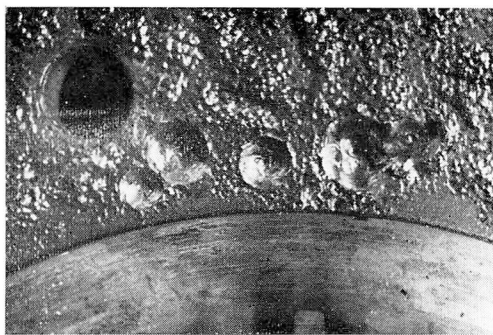
Ⅳ 事故の状況

当該チェーングラインダーのストーンを、フランジ・ドラム・シャフトの各部に分解し、事故による損傷状況について調査を行なった。

フランジ面・ドラム・面の損傷状況を写真1に示す。



ド ラ ム の 面



フ ラ ン ジ の 面

写 真 1 ドラム・フランジの損傷状況

両面とも写真に示す如くアバタ状に盛上った摩耗焼着生成物と思われるものが全面に発生付着している。その表面は酸化による黒皮を生じ、摩擦作用によって光沢を帯びている。付着層の厚さは場所により一定ではないが3～5mmであり、この状況はドラム側・フ

ランジ側とも写真に示す如くほとんど変りはない。

ピンは6本のうち3本が剪断破壊し、2本が抜け出している。破断面の一例を写真2に示す。これには疲労破面の特徴が現われているが、他についてもほとんど同様な傾向が認められた。



写真2 ピンの破面

ピンの抜け出した穴は写真に示すように変形拡張した状態になっている。

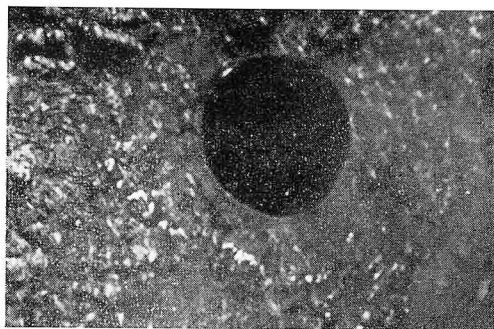
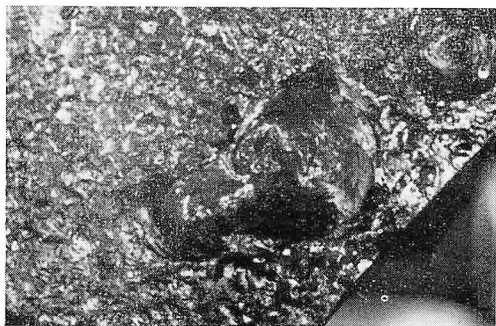


写真3 ピン穴

次に異常な現象として、前記焼着生成物中に埋め込まれた状態で存在する一見ソロバン玉状の物体が認められた。この存在状態および形状は写真1, および写真4に示す如くであるが、主としてピン穴のピッチ円より中心寄りで、二つのピン穴の中間部に多発する傾向が認められた。



(これは2個が連らなっている)

写真4 ソロバン玉状生成物の一例



写真5 焼着を起こさないドラム面

表面には多数の同心円状および渦巻状の傷があり、黒皮と金属光沢面が混在していた。またその断面の紡錘形は左右対称ではなく、フランジ側に対してやや突出した状態が認められた(写真7参照)。大きさはさまざまであるが、直径10~30mm、厚さ5~15mmのものが大部分であった。

この他に直径3~5mm程度のほとんど完全な球状の生成物も多数存在したが、フランジ取りはずしの際脱落したのでその生成位置はわからない。

以上述べたのはドラム・フランジ面の片方の端面についてである。もう一方の端面は写真5の如くピンが破断し、あるいはライニングを破って抜け出す傾向を示したが焼着現象は認められず、ビット液の腐食作用によって fretting corrosion が促進され、やや荒れた状態となっていた。ピンは3本が破断し、その破面から前述の場合と同様疲労によるものと考えられる。

V 焼着生成物に関する検討

前述の如く、ドラム・フランジ間には異常な摩耗焼着現象を生じたのであるが、これが如何なる機構によって生じたものであるかを推察し、原因考察の資料とするために更に詳しく検討を行なった。

(a) ドラムおよびフランジ面付着生成物について

前述のように全面にわたって付着している。表面の黒皮は摩擦熱で生じた高い温度による酸化鉄生成のためと考えられる。写真6にこの付着生成物のマイクロ組織を示す。これは回転方向に直角な断面である。非常に複雑な flow line 状の線が多数認められ、これらは大体において層状をなしている。ドラム・フランジとも原組織は鋳鋼の焼ならし状態であるから、このような層状組織がはじめてから存在することは考えられない。従ってこれは摩擦によって強度の変形を受け、ま

たかなりの高温の下で圧着を繰返した結果であろうと思われる。

摩耗によって生じた焼着生成物の表面が酸化し、その上にまた新たな焼着生成物が生成圧着するという現象の反復によって焼着生成物が幾層にも重なり合い、同時に不規則かつ複雑なる変形を受けた結果このような組織が生じたものであろう。

(b) ソロバン玉状生成物について

発生状況は前述の如くである。ここでは表面および断面の状況について更にマクロとミクロの観点から検討した結果を述べる。



5% Picral 腐食 ×60

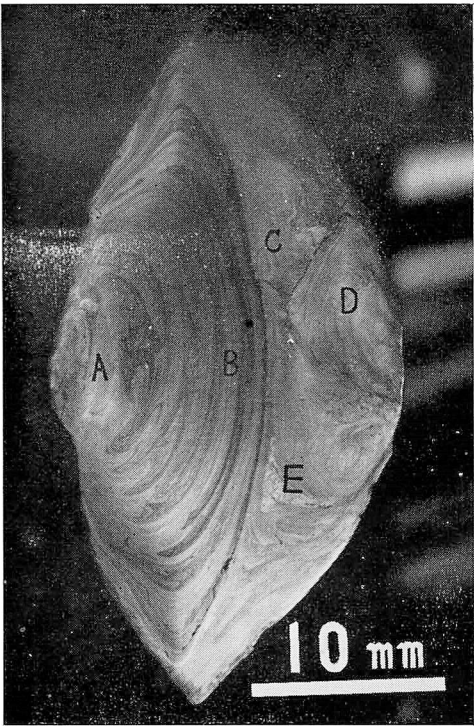
写真6 焼着生成物のミクロ組織

第2表 ソロバン玉状生成物の表面および断面の特徴

	表面状態	断面マクロ組織	断面ミクロ組織	
			低倍率	高倍率
ドラム側	同心円状	不規則	層状	spheroidite
フランジ側	渦巻状	層状	層状	spheroidite

写真7に示す如く断面の状況は明らかにドラム側とフランジ側で差が認められた。これは物体を挟んだ両者間の相対的運動の差によるものではないかと思われる。物体がドラムとフランジの間に発生成長してゆくものと仮定すれば、ドラム側からみれば、ドラム側にはめ込まれた物体のフランジ側への突出部が常にフランジによる偏心的な回転作用を受けていることになり*、その結果その存在状況は、ドラム側では比較的稳定な状態であり、逆にフランジ側では不安定となってこのような差を生ずることが考えられる。しかしこれはあくまで仮説であり真の原因は不明である。

断面のマクロ組織も写真7の如く、ドラム側・フランジ側で相違を生じている。フランジ側では層状組織が明瞭に認められるのに対し、ドラム側は部分的には層状であるが全体としては不規則である。しかし大略、小物体を核として次第に焼着物の層を圧着しつつ成長して行く過程を考えることが出来よう。この場合の核となる小物体としては前述の球状物体あるいは焼着生成物の小片などが考えられるが、いずれにしても確証は得られなかった。



フランジ側 | ドラム側

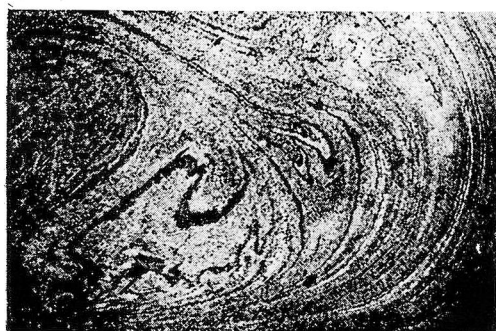
5% Picral 腐食

写真7 ソロバン玉状生成物のマクロ組織

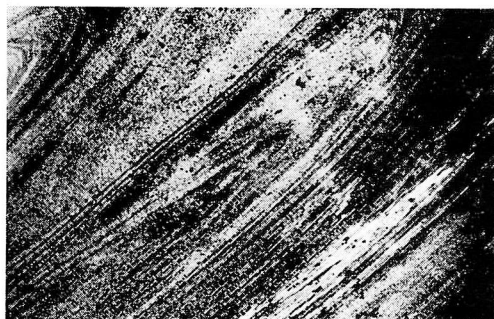
* VIの項参照

次に写真7の各部のマイクロ組織について検討する。
各部のマイクロ組織は写真8に示した如くである。マク

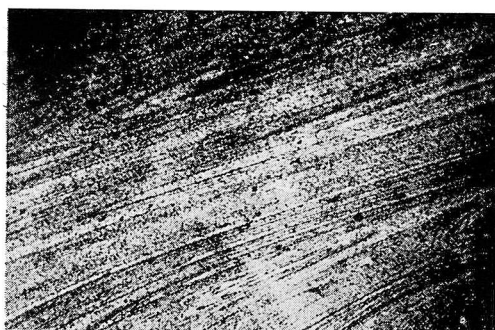
ロ写真との関係は、各々対応する符号A・B・C・
D・Eで示す。



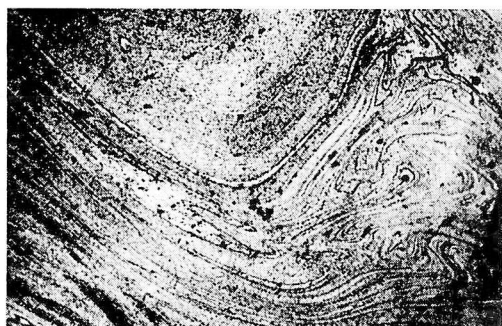
A



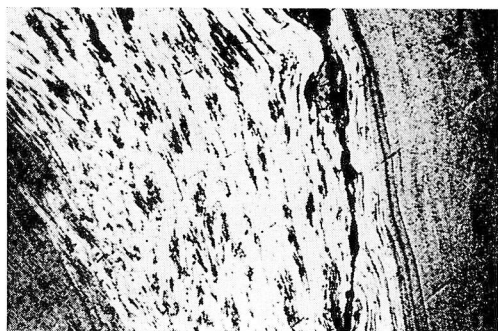
B



C



D



E

5 % Picral 腐食 ×60

写真8 ソロバン玉状生成物のマイクロ組織

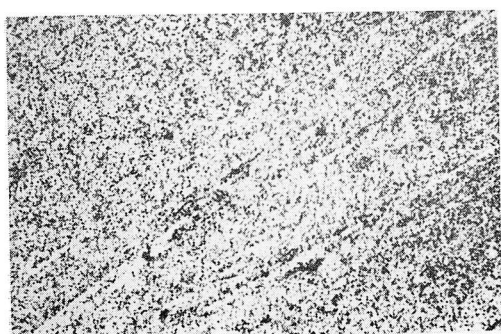
A・Bはフランジ側、C・D・Eはドラム側である
が、A・BとC・Dではマクロ組織で見られるほどの
差はない。むしろ写真6に示した焼着生成物の組織と
ほとんど変わらず、従って生成機構も同様であると思わ
れる。

変形の状況がやや軽微であるのは、摩擦を受けなが
らもある程度回転しているので ** 拘束変形を受ける
度合が少ない故であろう。

ただEの部分は特異な組織であり初析フェライト中
にパーライト colony が点在しているように見える。
これはビンの原組織から考えて、その破片であること
はほぼ確実であろう。

これらを更に高倍率検鏡すれば写真9の如くである

** VIの項参照



a



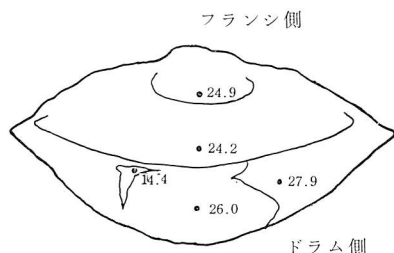
b

5% Picral 腐食 ×400

写真9 ソロバン玉状生成物のマイクロ組織

A・B・C・Dの部分はいずれもaの如く微細な球状セメンタイトが一面に分布した、いわゆる spheroidite 状の組織である。この点については(a)で述べた焼着生成物も同様である。またEの部分も写真bの如くパーライト colony 中のセメンタイトが完全に球状化している。これは摩擦熱による加熱と、強度の変形の反復によって炭化物球状化が促進されたことを示すものであろう。

なお参考のために断面硬度を測定した結果を第4図に示す。



第4図 ソロバン玉状生成物の断面硬度 (HrC)

SC 42 および SCA 21 の規定を遙かに上回り、相当の加工硬化を生じていることが認められた。摩耗圧着および炭化物球状化が生ずるほどの温度上昇にも拘らず、これだけの加工硬化を生じていることは注目値する。

焼着生成物およびソロバン玉状生成物について検討した結果をまとめると次の如くである。

〔1〕焼着生成物はドラムおよびフランジが摩耗焼着を生じて発生したものであろう。

〔2〕焼着生成物は摩擦熱によって熱せられ、その温度は局部的には鋼の再結晶温度以上に達し、強度の変形を受けつつ酸化・圧着を繰り返したものと認められる。

〔3〕ソロバン玉状生成物は最初小さな球状物体として発生し、次第に焼着生成物の層が圧着して雪ダルマ式に成長したものと考えられる。

Ⅵ 事故原因についての考察

この事故の第一の特徴は前述の異常な摩耗焼着現象である。Ⅱで述べたように、ドラムーフランジ間の摩耗は単なるスベリあるいは fretting corrosion 的なものとして発生し、3～4年間で2～5mmの厚さの減少している例は過去にも見られた。しかし焼着を生じたものはほとんどなく、またソロバン玉状生成物の発生に至っては全く前例がない。

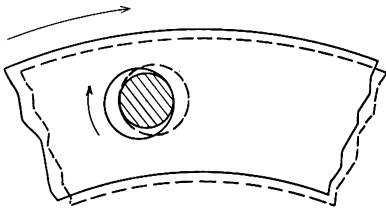
第二にこの現象が、フランジ取り付けに際しての方法の変更後に生じたという点である。すなわちドラムとフランジを固定したピンに問題があるのではないかと考えられる。

ピンを打込んだ理由は既に述べた如く、スリップを防止し、芯狂いをなくするためでありピンの剪断強度には充分の安全率を見込んでいたにも拘らず、結果は前述の如くであった。

損傷面の摩耗焼着生成物が強大なる面圧を伴った微小スベリ摩擦によって生じたものであることはⅤにおける検討の結果明らかである。従ってこの面はピンで固定されていたにも拘らずスベリを生じていたことになる。そしてこのスベリ運動はピン穴が変形拡張していたこと、およびソロバン玉状生成物の表面の同心円

および渦巻状の傷などから、ピンを中心とした円運動であろうと考えられる。

例えば第5図に示す如くドラムのピン穴の内面がピンの外周面に沿って運動すれば、ドラム・フランジ間には常にピンを中心とした相対的なスベリ摩擦現象が生ずるであろう。そしてこの運動は木材の摩砕過程における複雑微妙な負荷変動によって、ストーンが一回転する間にも数回行なわれる可能性がある。すなわちドラムとフランジは、ストーン自体の回転数と同一、あるいはより高いサイクルで相対的な微小摩擦を繰返しつつ回転していたことが推察される。



第5図

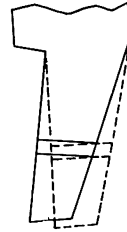
このような現象が生じたとすれば、摩耗焼着現象の発生することは言うまでもなく、ピンに働く剪断応力は繰返し回転曲げに似た形式で、しかも衝撃的な要素を含む複雑なものとなり、さらに個々のピンに対する剪断負荷は決して均等なものではなく、いずれかに対して集中的に働くことが考えられる。ピンの破面に疲労破壊の特徴があらわれていることはこれを裏付けるものであろう。

またソロバン玉状生成物は生成・成長して厚さを増して行く過程において、ドラム・フランジ間の間隙を押し拡げる作用をすることが考えられる。これは言うまでもなく両者間の締結を妨げるものであり、ピンの抜け落ちあるいは芯狂いを生ぜしめる重要な一因であらう。

しかし以上の事柄を容認しても未だに問題は残る。それはフランジとドラムがピンで固定されても、シャフトの回転によってフランジはピンの軸方向に沿った動きでドラムに押しつけられ面圧は増大して行くのであるから緩みを生ずることは有り得ない、という考え方である。

これはドラム・フランジの締結面がシャフトの軸方向に対して完全に垂直である場合には一応あてはまるであろう。しかし実際にはドラム・フランジ両者は円錐面で接しているのであってシャフトに対しては垂直ではない。そこで稼動中の負荷変動によってさらに緊

密な締付けが行なわれようとする場合には、第6図に示す如くドラム・フランジの締結面では面の半径方向にも微小変位を生ぜしめようとする力が働く。ところがピンはこの変位を阻止する働かしをし、結果的には完全な締結は行なわれなくなるのである。



第6図

過去の例をみると、摩耗焼着を生じなかったドラム・フランジ面でもお互いに幾分かのスベリ摩擦を生じていたことが明らかに認められる。そしてその面はピット液の腐食作用によってある程度酸化・侵食された fretting corrosion 的な状態になっている。

これらのことを考慮すれば、ドラム・フランジ間の締結状態は決してシャフトの軸方向の力だけで左右されるものではなく、操業中の負荷と回転によって僅かながらスベリ摩擦を生じつつ「なじみ」を生じた場所に落ち着いてはじめて完全な締結が行なわれることになるのであろう。

以上を要約すれば次の如くである。

〔1〕 摩耗焼着の原因は、ドラム・フランジ間の強大な面圧を伴った微小スベリ摩擦であり、それはピンを中心とした円運動であろうと考えられる。

〔2〕 ドラム・フランジ間に充分な締結が行なわれるためには、両者間にある程度のスベリ摩擦が生じ「なじみ」を生じた所で落着くことが必要である。

〔3〕 ピンによる両者の固定はこのスベリを阻止し、結果的には完全なる締結を妨げることになる。

結 言

はじめに述べた如く、本稿は事故についての調査報告の一部である。現場が生産工場であることから、再現性のある実験を行うことは不可能であり、また、修復期間中に収集しうる資料にも限があった。したがって、内容がやや定性的に傾いた嫌いはあるにしても、摩耗現象の複雑性、とくに定量的な解明の困難なことも考慮すれば、これも止むを得ぬであろう。

問題の発端となったストーンの動力伝達機構は、多分に経験的な要因に基いてあのような設計が生れたものと考えられ、それを更に改善しようとする試みは失

敗した。しかし、従来とかくあいまいであったドラムーフランジ間の締結状況について、ある程度の知見が得られたことは、今後の操業に際して有意義なものと考えられる。

謝 辞

本稿の執筆にあたり、王子製紙株式会社苫小牧工場

の能島次長・工作部袴田副部長・大沼清一氏・碎木課大場課長・技術部野田技師、以上の諸氏には多大の協力をいただいた。特に野田技師には全般にわたって大変お世話になった。ここに深く感謝の意を表する次第である。

昭和42年12月18日受理