

鐵鋼中の氣泡に關する研究 (I)

(眞空切削装置について)

(昭和 26 年 4 月本會講演大會にて講演)

藤 井 毅 彦*

STUDY ON BLOWHOLES IN IRON AND STEEL (I)

(Vacuum Cutting Apparatus)

Takehiko Fujii

Synopsis:

It is important to eliminate blowholes or pinholes in iron and steel, the mechanism of growth of them has not been yet sufficiently studied. As a first step, to study this mechanism, it is necessary to analyze the gases existing in blowholes or pinholes. For this purpose, vacuum cutting apparatus was designed and set up instead of drilling the sample in water or oil.

Vacuum cutting apparatus is a lathe which works in high vacuum, and is composed of three parts, that is, high vacuum part, low vacuum part, and atmospheric part. During the cutting with this apparatus, there are two kinds of gases extracted, one is discharged from blowholes or pinholes, the other is evolved from chips because of their high temperature: to prevent the mixing, the apparatus is designed so that its cutting velocity to be as slow as possible. Furthermore, to eliminate gases which evaporate from oil in vacuum, low pressure oil is used. The apparatus is then tested as follows.

- (1) Using this vacuum rotary apparatus, high vacuum (10^{-5} mm Hg) can be attained during operation.
- (2) Cutting can be done automatically with a turning tool or cutter
- (3) Gases discharged during the cutting can be got together by a mercury diffusion pump and a jet mercury pump, then analyzed by an Orsat apparatus.
- (4) Gases evolved from the apparatus in vacuum is 0.03-0.04cc in 3 hr, and it is negligible small for analysis.
- (5) Cutting temperature is about 60-100°C when measured by a thermocouple of a turning tool and the sample (iron or steel), and temperature of chips is about 100°C when measured by calorimetry of chips.
- (6) Gas pressure during the cutting is continuously measured by a pirani gauge, and so the existence of blowhole is immediately and apparently indicated by sudden change on the pirani gauge reading.

Some experimental data observed by this apparatus are as follows.

Exp. No.	Total Gas Volume cc/100g	CO ₂		O ₂		H ₂			CO		N ₂		N. B.
		cc/100g	Volume %	cc/100g	Volume %	cc/100g	Volume %	Wt. %	cc/100g	Volume %	cc/100g	Volume %	
No. 12	1.04	0.01	0.7	0.02	1.3	0.86	84.7	0.000069	0.06	6.0	0.00	0.0	Pinhole
No. 13	3.68	0.03	0.7	0.07	1.8	3.52	95.6	0.002760	0.06	1.7	0.00	0.0	Sand
No. 33	3.80	0.15	4.0	0.00	0.0	2.10	54.9	0.000173	0.15	4.0	1.48	38.0	Blowhole
No. 35	3.58	0.00	0.0	0.15	3.9	2.41	67.4	0.000200	0.31	8.7	0.70	19.6	"

* 新扶桑金屬工業株式會社製鋼所技術研究課

I. 緒 言

工業用鐵鋼の製造に際して發生する氣泡は素材に出現する避け難い缺陷の一つであるが、その發生機構は今の所十分究明されているとは云えない。即ちこの發生機構を明にし、しかる後にそれに基いて氣泡發生の防止對策を考えることは意義深いことと思ふ。その究明のための一つの手段として氣泡中のガスの成分を知ることが必要である。これに對する從來の研究方法は水又は油中で鐵鋼素材を穿孔して放出するガスを捕集分析するものである。

即ち Fr. C. G. Müller¹⁾, Steed²⁾, Münker³⁾, Kabrs⁴⁾, Maltitz⁵⁾, は鐵又は鋼の素材を水中で穿孔した結果、そのときに發生するガスは、主として水素及び窒素であり、二三の場合に少量の一酸化炭素の存在を認めた。又 W. Herwig⁶⁾ は加熱して歴延した鐵鋼素材に存在する氣泡の研究に於て、氣泡中のガスの主成分は窒素であり、それに少量の一酸化炭素と水素が存在することを知り、それに對して W. Kual⁷⁾ は主成分は一酸化炭素であることを確認した。更に最も新らしく穿孔によるガス成分の研究を行つた F. Rapatz⁸⁾ は、加工した鋼からのガスは主成分が水素と窒素であり、一酸化炭素は痕跡しか存在しないことを認めた。しかし大きな氣泡中には一酸化炭素は多量に存在するものと考えた。氏の行つた實驗結果によれば、脱酸前の熔鋼を鑄込んだ素材中の大きな氣泡に含有されるガスは 54.6% CO, 15.2% H₂, 30.2% N₂, 0% CO₂ 又は 29.0% CO, 31.2% H₂, 28.2% N₂, 10.4% CO₂ の成分であり、脱酸後の素材では 9.2% CO, 63.8% H₂, 28.0% N₂ で最終熔解過程の素材では 10.5% CO, 70.2% H₂, 19.3% N₂ の成分である。

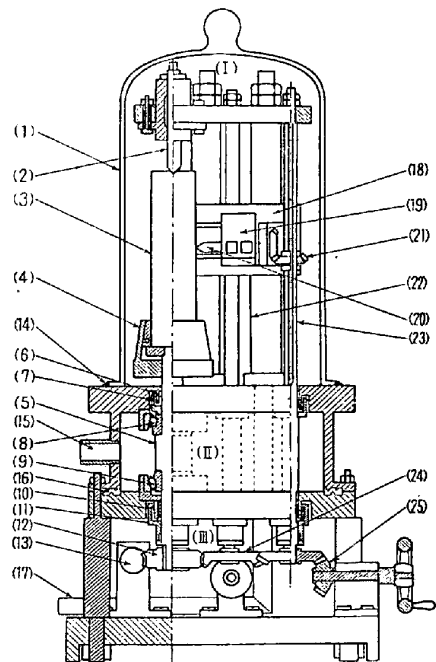
1926年 P. Klinger⁹⁾ は穿孔による放出ガス中に上記成分の他に少量のメタンの存在を示すと共に、種々の分析方法即ち高温真空抽出法 (Heibextraktion im Vakuum), 化學置換法 (Chem. Umsetzung mit Cu(NH₃)₆Cl₂, HgCl₂, Cu(NH₃)₆Cl₂), 低温真空化學分解法 (Chem. Kaltumsetzung im Vakuum mit Jod, Brom, HgCl₂, CuCl₂) の結果を比較検討した後、素材のガス分析を行い、熔鋼の凝固中に化學反應のために發生する一酸化炭素が氣泡發生に對して直接原因であり、一酸化炭素が逃げ去るときに水素及び窒素を伴うものと考えた。更に氣泡の生成後氣泡壁の高熱のために一酸化炭素は分解し、そのときに生ずる負圧力により、周圍の素材から水素が擴散して侵入し、ために氣泡中には水素が多

量に存在するものとした。

又鋼塊に發生している氣泡に關しては小平博士¹⁰⁾ がリムド鋼塊を水中でチップングハンマーで切削し發生するガスを捕集分析し、氣泡中の壓力と共に精密な分析値を得て、H. D. Hibbard¹¹⁾ の分析値との比較を行い、同様な分析結果であることを示している。

この様に各研究者の結論は必ずしも一致してないが、その理由はこれらの研究方法に於ては發生ガスと溶液との作用のために正確な分析値が得られなかつたり、氣泡が小さい場合は、その中のガスが水で置き換えられないから全部捕集されない等のガス分析上の諸缺點に基くものと思われる。

即ちこれらの缺點を除くために素材を真空中で切削してガスを捕集分析し、それに基いて氣泡の發生機構を考究することが望ましいと思ふ。従つてこの目的を果すべき装置を考察設計して、鐵鋼素材の氣泡中のガス成分を確認する實驗を行つた。第1報に於ては先づ真空切削装置について詳述する。



- | | |
|--------------|-----------------|
| (1) ガラス鐘 | (14) 高真空用コムバウンド |
| (2) センター | (15) 補助真空排氣口 |
| (3) 試料 | (16) ゴムパッキング |
| (4) チャック | (17) 高真空排氣口 |
| (5) 主軸 | (18) バイト台 |
| (6) 軸受座 | (19) バイト台 |
| (7) 水銀ケース | (20) バイト |
| (8) テーパーコロ軸受 | (21) 傘齒車 |
| (9) テーパーコロ軸受 | (22) バイト上下送り軸 |
| (10) 軸受座 | (23) バイト突込み送り軸 |
| (11) グリースケース | (24) 傘齒車 |
| (12) ウォームギヤ | (25) 傘齒車 |
| (13) ウォームオイル | |

第1圖 バイト切削装置圖

II. 真空切削装置

第1圖は本實驗に使用した真空切削装置である。次にこれを真空廻轉装置とに分けて説明する。

1. 真空廻轉装置

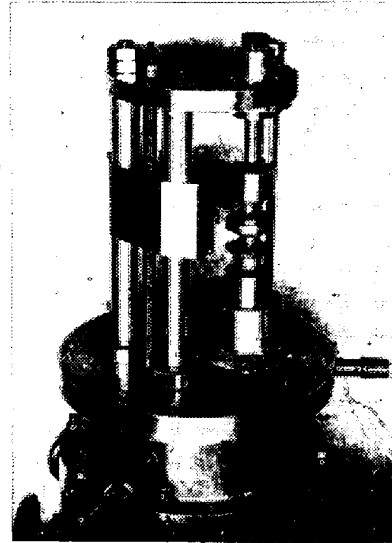
この真空廻轉装置は齋藤、山本兩博士¹²⁾が真空磨耗試驗に用いた装置の廻轉部分を改良して使用したものである。即ち高真空部(I)(到達最高真空度 10^{-5} mm Hg), 補助真空部(II)(到達真空度 10^{-1} mm Hg), 大氣壓(III)の三部分に別れており, 高真空部と補助真空部の間は水銀パッキングで, 補助真空部と大氣壓との間はグリースを使用した木綿パッキングで遮断してある。(5)は廻轉主軸であり, (12)(13)のウォームにより廻轉し, ウォームはモーターから直接ベルトに依つて廻轉が傳えられる。主軸上端高真空部には旋盤のチャック(4)がありこの主軸が上下に動かないように(8)(9)のテーパコロ軸受で上下の軸受座にねぢで締めつけてある。大氣壓と補助真空部の間は軸受座(10)の廻りを廻轉するケース(11)を設け, その空間には木綿パッキングをグリースで濡したものをに入れてパッキング締めで締めつけ, 更に残りの空間にはグリースが満ちてある。かくすることによつて大氣壓と補助真空との間が遮断されているので廻轉のときに發生する磨擦熱によりグリースが油状になつて補助真空部に流入する懸念があるが, この装置の廻轉は1分間15廻轉であり, 磨擦熱は問題にならない。補助真空部と高真空部の間は軸受座(6)の廻りを廻轉するケース(7)を設け, その間の空間には水銀を満し補助真空部と高真空部の間が遮断されている。

尙バイト切込み送り用軸, バイト上下送り用軸についてもこの主軸と同様である。

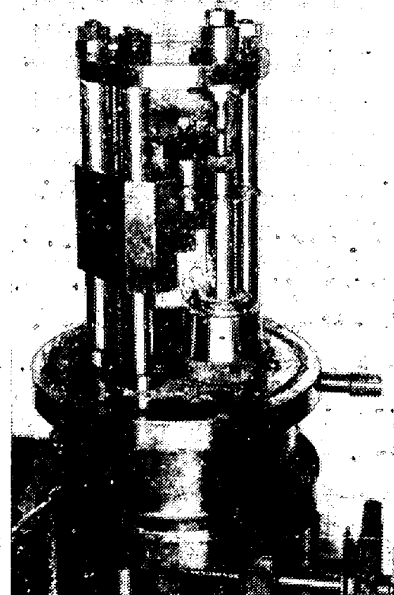
2. 切削装置

第1圖のバイトによる切削装置圖に於て(3)は50mm ϕ × 200mmの切削試料であり, 上部は(2)のセンターで中心を締め, 下部は(4)のチャックで締めつけ, (5)の主軸の廻轉を試料に傳える。切削のバイト部は普通の旋盤と同様にバイトを取り附けたもので, (25)の傘齒車を廻轉することによつて(23)の軸を廻轉し, (21)の傘齒車によつて廻轉をバイト台(19)に傳えてバイト(20)を前後に移動させる。さらに(24)の傘齒車を廻轉することによつて(22)のねぢ軸を廻轉し, バイト台(18)を上下に移動させる。このバイト切削装置の寫眞を第2圖に示す。

尙この切削装置は必要に応じてカッターも使用し得る如くした。即ち第3圖の寫眞に示す如く, バイト切削の



第2圖 バイト切削装置



第3圖 カッター切削装置

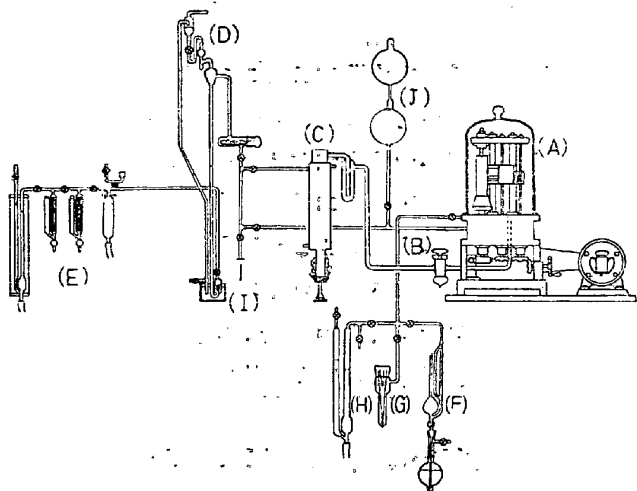
ときの試料の位置にカッターを附け, バイト台に試料を取附けた。切削は自動送りで行い, 第1圖のウォーム(12)と傘齒車(25)をギヤで連結し主軸の廻轉を試料の送りに傳えた。

潤滑油は必要部分のみに油擴散真空ポンプ用油(蒸氣壓 10^{-7} mm Hg)を使用した。

III. ガス分析操作

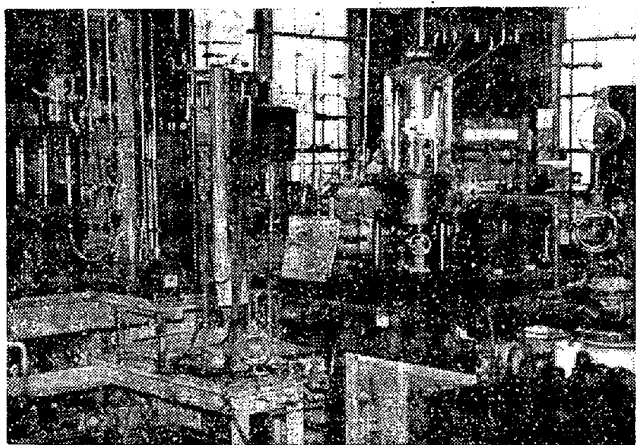
第4圖は實驗装置の配置圖であり, 第5圖はその實物寫眞である。

分析を行うには先づ上述の真空切削装置上に硝子鐘をかぶせ底を真空コムパウンドで密封した後, 油廻轉真空ポンプ(I)で高真空部, 補助真空部を同時に排氣する。この際水銀パッキングの水銀の流出を防ぐために兩者の



第4圖 分析装置圖

- (A) 真空切削装置
- (B) 大コック
- (C) 水銀擴散真空ポンプ
- (D) 水銀滴下補助ポンプ
- (E) オルザット微量ガス分析装置
- (F) マクレオド真空計
- (G) ビラニー真空計
- (H) 水銀マンノメーター
- (I) 油廻轉真空ポンプ
- (J) 空氣溜



第5圖 全装置

排氣速度は同一でなくてはならぬ。そのために空氣溜 (J) を補助真空部に附して兩者の容量を同一にしてある。そして 10^{-1} mm. Hg 程度の真空に到達した後、水銀擴散真空ポンプ (C) で高真空部を 1×10^{-5} mm Hg 迄排氣する。しかる後大コック (B) を閉ぢ、切削を行う。この間の壓力はマクレオド真空計 (F) とビラニー真空計 (G) とを併用して測定する。即ち切削が氣泡部に達すると (A) の高真空部の壓力は突然變化するべきであるがこれはマクレオド真空計では觀測し得ない。依つてビラニー真空計によりこれを觀測することとした。一方切削によつて出るガスは、水素、窒素、一酸化炭素等の混合ガスである。故にビラニー真空計のタンゲステン線の熱交換係數が夫々のガスについて異り、真空度とガルバーの讀みの曲線との間には再現性がない。このた

めに測定毎にマクレオド真空計で真空度を測定しビラニー真空計の讀みを補正して眞の真空度を決定した。切削後大コック (B) を開き水銀擴散真空ポンプ (C) で排氣し、ガスを水銀滴下捕集ポンプ (D) で捕集し、オルザット微量ガス分析装置 (E) で分析を行う。尙水銀マンノメーター (H) は真空切削装置の高真空部の容積を測定するのに使用するものである。

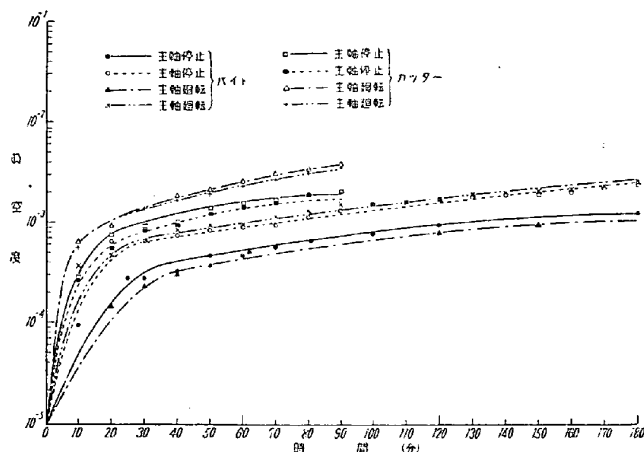
IV. 豫備實驗

真空切削装置中には多くの鋼材を使用しているので、鋼中に吸藏されているガスが高真空中に抽出されることが考えられる。又廻轉部の溫度上昇のためにガスが抽出されることもあり得る。又切削に際し切削部の溫度上昇のために氣泡以外に存在するガスが放出されて氣泡中のガスと混合することも考えられる。これらのガスの分析値に與える影響を明にするために次の如き豫備實驗を行った。

1 空實驗

a) 放出ガスの壓力測定

先づ試料を取附けずに真空切削装置を切削時間丈 (バイト切削の際は2時間以上、カッター切削の際は30分以上) 静止又は稼働せしめて夫々の場合に於けるガスの放出状態を測定した。その放出曲線を第6圖に示す。即ちバイトを取付けた際、3時間静止後の真空度は 2.5×10^{-3} mm Hg, カッターを取付けた際、1時間30分静止後の真空度は 2.1×10^{-3} mm Hg である。更に稼働した場合はそれぞれ3時間後に 2.7×10^{-3} mm Hg, 1時間30分後に 3.9×10^{-3} mm Hg ある。即ち静止稼働で何れの場合にも放出ガス量に大差はない。次にこの程度の放出ガス量が1氣壓の下に占める容積は次の如くにして知つた。



第6圖 空實驗ガス放出曲線

第1表 真空切削装置(高真空部)の容積

	回数	空氣注入前真空度 mm Hg	空氣注入後真空度 mm Hg	注入空氣量 cc	容積計算値 cc	平均容積 cc
バイト切削装置 (室温 10°C) (氣壓 771 mm Hg)	1	1×10^{-4}	2.45×10^{-2}	0.37	11527	11552
	2	1×10^{-4}	2.20×10^{-2}	0.33	11445	
	3	1×10^{-4}	7.10×10^{-2}	1.07	11498	
	4	1×10^{-4}	1.30×10^{-2}	0.20	11738	
カッター切削装置 (室温 14°C) (氣壓 768 mm Hg)	1	2×10^{-4}	2.80×10^{-2}	0.38	10422	10721
	2	2×10^{-4}	1.05×10^{-2}	0.15	10971	
	3	2×10^{-4}	1.15×10^{-2}	0.16	10685	
	4	2×10^{-4}	1.35×10^{-2}	0.19	10808	

b) 放出ガスの1氣壓下に於る容積測定

放出ガスの1氣壓の下に於ける容積を知るには、真空切削装置の高真空部の容積を知ることが必要である。そのためこの高真空部に水銀マンネーター(H)を付け(第4圖参照)、一定量の空氣を入れてその真空度の變化から容積を計算した。その結果は第1表に示す如くである。

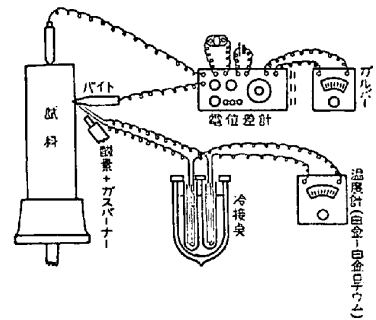
第1表の平均容積を用いて換算すると第6圖の真空切削装置を静止して放出ガスを測定したときの真空度 2.5×10^{-3} mm Hg(バイト), 2.7×10^{-3} mm Hg(カッター)は760mm Hgに於ては夫々0.038cc, 0.029ccに相当し又稼働せしめたときの放出ガスの真空度 2.7×10^{-3} mm Hg(バイト), 3.9×10^{-3} mm Hg(カッター)は760mm Hgに於ては夫々0.041cc, 0.054ccに相当し、これらはいずれも分析誤差内の容積で測定値には影響を及ぼさないことになる。

2. 切削温度の測定

本切削装置に於ては切削温度の上昇は極力これを防止する如く設計した。即ちバイト切削では試料の廻轉数を1分間15廻轉(切削速度2.35m/min)とし、さらにバイトの送りも0.63mmとした。又カッター切削では切削速度を1分間0.39mmとし、カッター1廻轉に對する切込みを0.02mmとして何れも切削速度を出来る丈おそくした。そしてこの條件下に於ける切削温度を測定し、その影響について考究した。測定は熱電對による方法¹⁾とカロリメーターによる方法との二方法を用いて比較検討した。

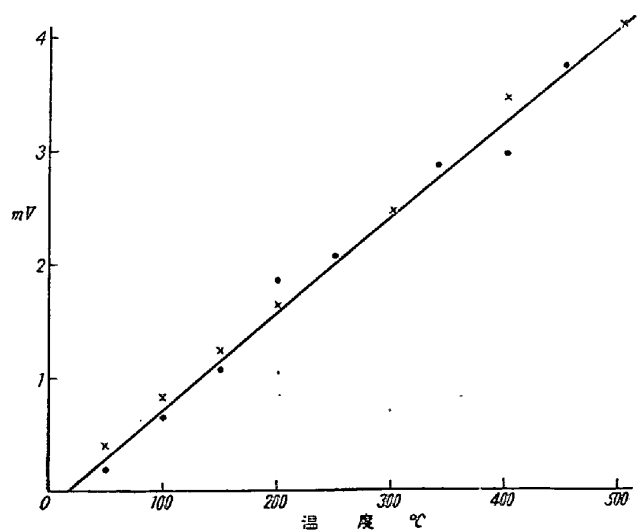
a) 熱電對による測定

第7圖に示すような装置によりバイトの前逃げ面と被加工材料との接觸點を一種の熱電對とし、兩方を導線で電位差計に連結し、檢流計の振れから切削部のバイトと試料との接觸點の熱電壓を測定した。この際双物台とバイト台とは完全に絶縁するため、マイカを數枚重ねて挟んだ。又主軸廻轉用モーターから電流が流れて測定値を



第7圖 切削温度測定装置

亂すので直接モーターから接地を行つた。尚低温接點は双物台の方はバイトの他端であり、被切削材料の方はセンターの上端で室温に放置した。この熱電對の熱電壓と温度との關係は、バイトと被切削材料とを密着し、その點に別に白金-白金ロジウム熱電對の一端を挿入し、酸素とガスとの混合氣體を使用するバーナーで接觸點の温度を上げ同時に熱電壓と温度とを測定して求めた。その結果は第8圖に示す如く兩者の關係は一定の直線となる。



第8圖 熱電壓と温度との關係曲線

第2表に切削温度の測定値を示す。

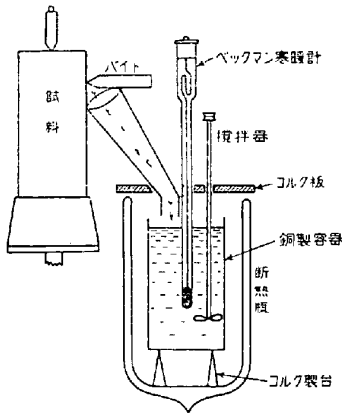
尚切削バイトは四種を用い、双形は普通の鋸バイト型

第2表 熱電對による切削温度

氣 壓	切 削 の 種 類	第1回測定値		第2回測定値		第3回測定値		切削速度 m/分	切込み又は送り mm
		熱電壓 mV	温 度 °C	熱電壓 mV	温 度 °C	熱電壓 mV	温 度 °C		
1 氣壓	突 切 り	0.29	51	0.33	55	0.37	60	2.35	0.21
	側 面 切 削	0.41	65	0.49	75	0.62	89	2.35	0.50
	自 動 送 り 切 削	0.62	89	—	—	—	—	2.35	0.39
1×10 ⁻⁵ mmHg	突 切 り	0.20	40	0.24	46	0.37	60	2.35	0.21
	側 面 切 削	0.39	62	0.49	75	0.66	95	2.35	0.50
	自 動 送 り 切 削	0.59	87	—	—	—	—	2.35	0.39

であり、大きさは 10×10×60mm である。被切削材は炭素鋼(0.21%, C) で 50mmφ×200mm の試料である。

b) カロリーメーターによる測定



第9圖 カロリーメーターによる切削温度の測定圖

第9圖の如く銅製のビーカー中に水を入れ、これにベックマン寒暖計と攪拌器を備えた。これを断熱瓶中に入れ上記と同じバイト及び被切削材を使用し、切削を行い、切屑を最短距離を経て銅製のビーカー中に入れるようにし、温度の損失を可及的小にした。水の温度の上昇を測定した後、入った切削の重量を秤量して切屑の熱容量を計算し、切屑の温度を推定した。その結果は第3表の如くである。

第3表 カロリーメーターによる切削温度

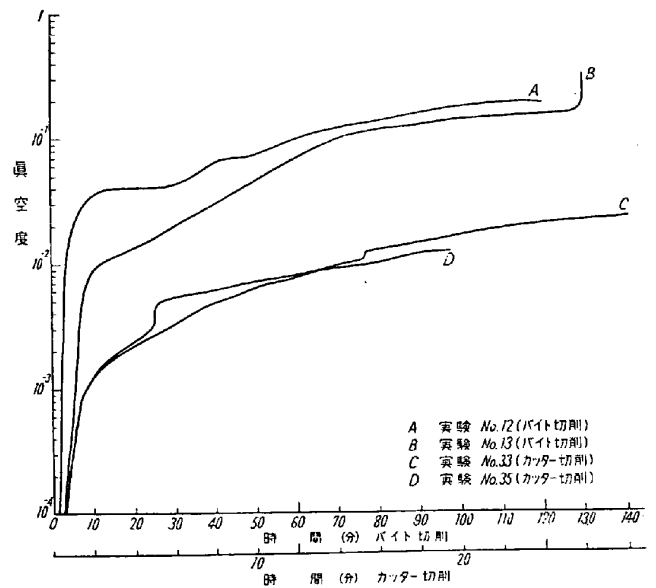
實驗回数	切削重量 g	水重量 g	上昇温度 °C	平均切削温度 °C
1	5.4432	96.2753	0.885	141.1
2	9.3552	95.1692	1.225	84.4
3	12.0490	71.9300	1.950	105.9
4	13.2708	83.2736	2.070	118.8

以上二方法による切削温度の測定結果はいずれも

100°C 内外の温度である。

さて K. Gottwein¹⁴⁾ の各種材料と温度、切削速度と温度との関係を求めた実験によると切削速度が本装置の 2.35m/min のときには温度は 200°C 以下であることが推定され、又 Schwerd¹⁵⁾ が切削箇所より発生する熱線を岩鹽レンズで集め熱電對にあて、測定した結果によれば切削速度 50~60m/min で最高 475°C である。よつて部分的には高温に温度が上昇していることもあり得るが切屑の大部分の温度は 100°C 内外の低い温度であることが解る。よつて本装置による切削の際には切削温度の上昇による放出ガスの分析値に及ぼす影響は考慮に入れなくともよいものと思われる。

V. 二三の分析例



第10圖 氣泡を有する試料の切削ガス圧曲線

第10圖に二三の試料について切削のときのピラニール真空計で測定したガス放出の様態を示す。曲線A(實驗 No.12), B(實驗 No.13)は 100KW 高周波電氣爐で

鑄鋼を熔解し、55mmφ×300mmの圓筒型金型に鑄込んだ試料をさらに50mmφ×200mmに機械加工し、そのうち氣泡ピンホールの多い試料をバイト切削を行つたものである。曲線Aは緩慢なガス壓の上昇を示している。これは切削によつて放出されるガスがガラス鐘内に蓄積されてガス壓が上昇することを示すものである。又曲線Bに於ては切削開始後125分間は曲線Aと全く同様に緩慢なガス壓の上昇を示しているが、その後はガス壓は急激に上昇していることが認められる。これは氣泡の存在することを示すに外ならない。

第4表に上述4試料の真空切削により放出されたガスの化學分析値を示す。本表に於て實驗No.12、實驗No.13は同一試料であるにもかかわらず實驗No.13は實驗No.12に比して全ガス量特に水素が多い。これは前者に於ては中心部に氣泡が存在していたためであることは前述の第10圖の曲線Bが示している。又その氣泡中には水素が多かつたことも解る。又實驗No.33、實驗No.35に於ては窒素の存在を示している。

尙第5表にこれら4試料を採取した熔鋼の取鍋分析値及び學振法水素分析値を示す。

VI. 結 言

鐵鋼中に發生する氣泡の發生機構を究明する一手段として氣泡中の正確なガス分析を行うために真空中で素材を切削してガス分析を行う真空切削装置を組立てその性能を検討した。その結果は次の如くである。

1. 真空廻轉装置は稼動中でも 10^{-5} mm Hgの真空に到達することが出来た。

2. 切削にはバイトでもカッターでも使用し得、自動送りも可能であるのは勿論のこと、その速度も切削速度も調節し得る。

3. 放出ガスは水銀擴散真空ポンプで排氣し、水銀滴下捕集ポンプで捕集、オルザット微量ガス分析装置で水素、酸素、窒素、一酸化炭素、二酸化炭素の分析を行つた。

4. 分析に際し装置から發生するガスは分析には無視出来る程度である。

5. 切削に際し切削温度の上昇のために放出される氣泡以外に存在しているガスと氣泡中のガスとの混合を避けるために切削温度の測定を行つたが、これが 100°C 内外にある如く切削速度を調節すれば分析値には影響を與えないことを確めた。

6. 切削ガス壓の變化をピラニ-真空計で観測し、その急激な上昇によつて氣泡の存在を確認することが出来た。

本研究に當り工學博士山本信公技術部長、理學博士三井三郎技術部次長、理學博士大中都四郎製鋼課副長の御指導をいただきました。厚く御禮申し上げます。

本研究の遂行に當りましては恩師京都大學教授理學博士佐々木申二先生の御懇篤なる御指導をいただきました。厚く御禮を申上げる次第であります。

(昭和26年8月寄稿)

第4表 真空切削放出ガス分析値

實驗 番 號	全ガス量		CO ₂		O ₂		H ₂			CO		N ₂		備 考
	cc/100g	cc/100g	容量 %	cc/100g	容量 %	cc/100g	容量 %	重量%	cc/100g	容量 %	cc/100g	容量 cc		
No.12	1.04	0.01	0.7	0.02	1.3	0.86	84.7	0.000069	0.06	6.0	0.00	0.0	ピンホール 並に砂疵 中心部に氣泡	
No.13	3.68	0.03	0.7	0.07	1.8	3.52	95.6	0.000276	0.06	1.7	0.00	0.0		
No.33	3.80	0.15	4.0	0.00	0.0	2.10	54.0	0.000173	0.15	4.0	1.48	38.0		
No.35	3.58	0.00	0.0	0.15	3.9	2.41	67.4	0.000200	0.31	8.7	0.70	19.6		

第5表 化學分析値及び水素分析値(學振法)

實驗番號	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	常溫放出水素 分析値		800°C抽出水素 分析値		全水素量	
								cc/100g	重量%	cc/100g	重量%	cc/100g	重量%
No.12 No.13	0.20	0.56	0.80	0.031	0.033	0.20	0.19	1.59	0.000126	0.89	0.000071	2.48	0.000197
No.33 No.35	0.40	0.38	0.70	0.048	0.012	0.32	0.19	3.50	0.000287	5.18	0.000423	8.68	0.000710

文 献

- 1) Fr. C. G. Müller; Ber D. Chem. Ges 12 (1879) 93; 14 (1881) 7 Stahl u Eisen 2 (1882) 531; 3 (1883) 443.
- 2) Stead; J. Iron Steel Inst. 14 (1883) 114
- 3) Münker; Stahl. u. Eisen 24 (1904) 23.
- 4) Kahrs; Chem-Phys. Vers-Aust. d. Firma Fried Krupp, A-G., Essen 1906 未發表
- 5) Maltitz; Bimonthly Bull. Am. Inst. Min. Eng. (1907) 691.
- 6) W. Herwig; Stahl. u. Eisen 33 (1913) 1724.
- 7) W. Kusl; Oest. Z. Berg-u. Hüttenwes. 54 (1906) 593, 610
- 8) F. Rapatz; Stahl u. Eisen. 40 (1920) 1240
- 9) P. Klinger; Stahl u. Eisen. 46 (1922) 445.
- 10) 小平 勇; 日鐵八幡製鐵研究所報告 16(1937)160
- 11) H. D. Hibbard; Iron Age 129 (1932) 715.
- 12) 齋藤, 山本, 日本機械學會論文集第 6 卷, 第 23 號 第 1 部.
- 13) 小柴; 日本金屬學會誌, 7 (1943) 181.
- 14) Gottwein; Masch-Bau. 4 (1925) 1129. Stahl u. Eisen 46 (1926) 1758.
- 15) Schwerd; Stahl u. Eisen. 51 (1931) 481. V. D. J. 77 (1938) 211.

“鐵と鋼” 昭和 27 年 5 月號論說豫告

- 酸性平爐操業と非金屬介在物との關係に就て (I)..... 石塚 寛
- 二元系溶融スラッグの電氣傳導度..... 森 一美・松下 幸雄
- 造塊作業の研究..... 中川 義隆・曾我 政雄
- キューボラ可鍛鑄鐵の改良に就て..... 下村 力
- スチーフェル・マンネスマン式穿孔機によるパイプの外面疵發生と管材表面疵の關係..... { 井上 勝郎
副島 恒夫
- 鑄鐵の顯微鏡組織と彈性係數との關係に就て..... 岡本 正三・鳥取友治郎
- 特殊鑄鋼の研究 (XII)..... 三ヶ島秀雄
- 鋼に現れる特殊熱脆性に就て..... 山中 直道・佐藤恭次郎
- 耐熱鋼の研究 (I)..... 淺野榮一郎
- 高速度工具に関する研究 (XIII)..... 堀田 秀次
- 技 術 資 料
- 溶滓式ガス發生爐の工業化..... 生駒 實
- 熔鋼の連續鑄造法..... 小島 義正・下川義雄