

熔鐵の流動性に関する研究 (II)

(昭和 28 年 11 月本会講演大会にて講演)

小 池 與 作*

STUDIES ON THE FLUIDITY OF MOLTEN IRON (II)

Yosaku Koike

Synopsis

In the first report (Tetsu-to-Hagné, 39, Sept. 1953, No. 9, 948~953), the relations between the fluidity of molten pig and the temperature, the composition and the degree of deoxidation of pig were observed by the weight which flowed out through the capillary. In this report, the author carried out this research farther with the same apparatus and by the same method.

Here Z, L and T were defined as follows

Z: the time required to let flow out 0.3kg molten iron through the capillary at the constant pressure.

L: the length of the melt which flowed along the mould until solidification. The fluidity of pig was usually measured by this method.

T: the temperature of the molten iron.

The following results were obtained

(1) Z-L relations was shown in one curve, when the samples were taken from the same melt. At the measurement on the samples from the different melts, their relations showed different curve at each case. This is due to the fact that Z mainly depended upon the viscosity of pig at the molten state, but L chiefly depended upon the temperature range until solidification from molten state.

2 Z-T relations of the normally used pig were shown in two almost linear relations which were closed at the liquidus point. The curve at the temperature above liquidus point showed an easy grade, but their inclination under the liquidus point became very steep, because the primary crystals appeared in the melt. When 0.7kg Al per 100kg steel was added to the normal molten pig, their Z-T relations became one curve which was steep as same as the Z-T curve under the liquidus point about the normal pig

(3) The sand (non-metallic inclusion) in the molten pig which had nearly same composition and yet showed the different fluidity were analyzed by the HNO₃ method. When the fluidity of pig was high, in general the pig contained high [FeO] within the range of this experiment.

(4) The value of Z obtained about 0.3~0.4% carbone steel at 1540°C by the same method was nearly 9.2. When 0.2kg Al per 100kg steel was added to these molten steel, Z increased so about 13.0. That is to say, the fluidity of the steel deoxidized sufficiently by Al was smaller than that of the steel which was not deoxidized.

I. 緒 言

熔融した鉄鋼の流動性(粘性)は熔融温度, 含有元素
其の他の条件によつて左右される。前回の報告¹⁾に於て
は鉄鉄組成の部分に就て, 内径 2.3mm 長さ 15mm の

流出孔より平均静圧熔鉄にて 122mm の下に各種熔鉄
を一定時間流出せしめ温度の変化, 各種元素の含有量,
脱酸程度の差異等の条件が流動性に及ぼす影響を調査し

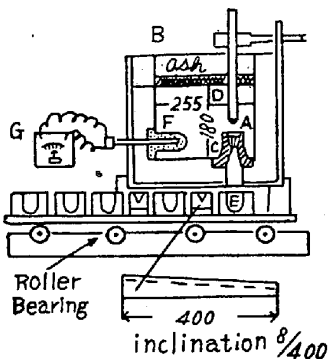
* 日本=ツケル株式會社

た。
 今回は更に引き続き下記の事項に就て得られた実験結果を報告する。前回と同様に 0.3kg の熔鉄が流出するに要する秒時を Z とした。これは流動性の逆数に類似したものである。

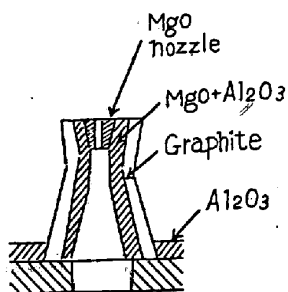
- (a) Z の測定値と従来行われている一定温度より凝固する迄に流れた長さにより示される流動性 L との関係
- (b) 熔銑の温度低下による Z の変化率と凝固点附近の Z
- (c) 熔銑の Z の変化と熔銑中の酸素
- (d) 熔鋼の Z について

II. 実験装置並実験方法

熔銑の流出実験に使用した装置は第 1 図の如く前回報告のものと同様である。但し同一熔銑試料より温度低下に伴い連続的に Z を測定するため、ある温度の Z を測定した後受器を移動して次の受器にて Z を測定する為 Ball bearing H により台を迅速に移動し得る如くした。此の如くして遂に流出が停止する温度まで測定を続けた。又流出孔 A は前回と同様に水銀により流出能力を測定したものをを使用した。



第 1 図



第 2 図

こゝに定めた Z と一定温度より凝固するまでに流れた長さにより、示される流動性 L との関係を求める為、Z を測定した後受器 E を移動して長さ 400mm 傾斜 3/400

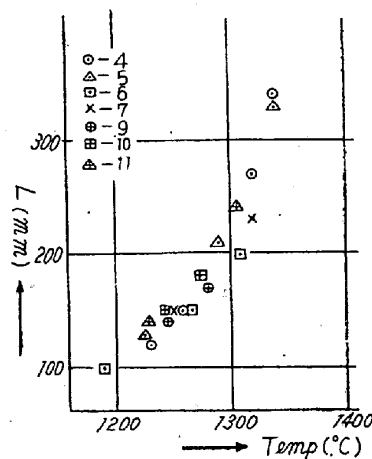
の V 型直線溝を有する金型に一定時間注入し直線金型内を流れた長さを測定した。此の場合金型は常にエメリーペーパーにてよくみがき温度は室温 (25°C) とした。

熔鋼に対する Z 測定については、流出孔支につき適当な材料の選定が困難で種々試作を行つた結果第 2 図の如き装置とした。此の場合、温度の急激な変化により、Spalling を起すことなく又流出孔の温度が短時間に所定の温度に上昇することが必要である。即ち中央部にある MgO 管の外側を厚さ 5mm の黒鉛管にて包み MgO 管の亀裂を防ぐと共に、速やかに流出孔の温度を測温部の温度と一致せしめた。

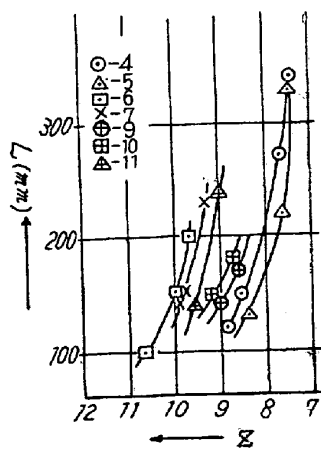
III. 実験経過並に結果の概要

(1) Z と L との関係

第 1 図に示す装置により各種熔銑について Z と L の値を測定した。第 1 表にこれ等熔銑の化学成分を示す。



第 3 図



第 4 図

先づ測定温度 T と流動性 L との関係を求めると、第 3 図の如くである。即ち、此の実験に使用した程度の試料

第1表 試料化学成分

試料番號	T.C	G.C	C.C	Si	Mn	P	S	Al	C+Si	備考
1	3.25	2.31	0.94	1.92	0.39	0.328	0.084		5.17	
1	"	"	"	"	"	"	"	0.62		出銑前 Al 添加
2	3.17	2.18	0.99	1.92	0.47	0.410	0.202		5.09	
3	3.16	2.20	0.96	1.98	0.40	0.434	0.101		5.14	
4	3.17	2.35	0.82	2.00	0.30	0.413	0.105		5.17	
4	"	"	"	"	"	"	"	0.64	0.	出銑前 Al 添加
5	3.15	1.80	1.35	1.81	0.35	0.403	0.104		4.96	
6	3.12	1.42	1.70	1.74	0.35	0.298	0.089		4.86	
7	3.25	2.52	0.73	1.55	0.46	0.359	0.103		4.80	
8	3.03	1.89	0.99	1.80	0.46	0.244	0.207		4.83	
8	2.88	1.95	0.93	1.91	0.45	0.261	0.194	0.21	4.80	出銑前 Al 添加
9	3.24	2.46	0.78	1.68	0.50	0.408	0.108		4.92	
10	3.34	2.60	0.74	1.68	0.45	0.344	0.103		5.02	
10	3.24	2.46	0.78	2.41	0.51	0.314	0.107		5.65	出銑前 Al 添加
11	3.34	1.82	1.52	2.20	0.50	0.221	0.079		4.97	

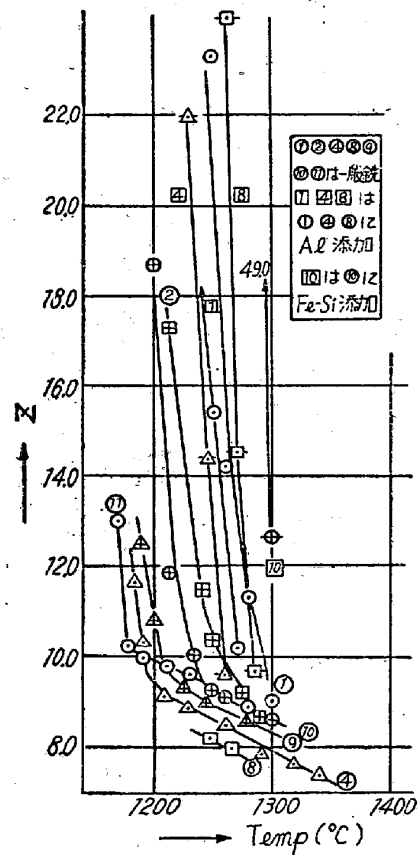
に於ては、その化学成分の変化は比較的少いのでLは殆んど流出温度Tと一定の関係にある。但し [C]+[Si] の大なるものが比較的 L-T 曲線の上にある。即ち、[C]+[Si] の大なるものは一定鑄込温度に対して熔融範囲Rが大となり、従つてLが大となつたものと考えられる。

次にLとZとの関係を求めると、第4図の如くであつて同一熔解状態で温度のみを変化せしめた場合は一定の関係を保っているが、異なる熔解の測定に於ては、成分元素の変化による熔融温度範囲R、熔融状態に於けるZの値、その他の原因により全く異つた関係を示した。同一熔解試料の流動性をLで表すと大きな変化を示す場合でもZによるとその変化は小である。これは、Lが温度即ちRの影響を顕著に受けるのに対してZはTの影響が比較的小さいことによるものである。此の流出実験に於て流出始めより流出停止までの流量の総計は各瞬間に於ける流出量の積分値に相当する理である。

(2) 熔銑の温度低下によるZの値の變化率と凝固點附近のZについて

第1図に示す装置により、同一資料より逐次温度の低下と共に流出量の変化を測定した。この場合1回の実験毎に熔銑の深さは5~8mm減少するので実験の進むにつれて熔銑の静圧は逐次減少する。流出速度は静圧の平方根に比例するとして流出量を補正した。これ等の実験結果を第5図に示した。試料の化学成分は第1表の通りである。

第5図に於て group I は普通の銑鉄について調査したもので④⑤⑨⑩等の如く熔融状態に於てはZは略直線的に増加している。凝固點附近の初晶析出温度より急激に而も直線的にZは増加する。



第5圖

又試料の中には稀に group II ①②の如く流動性の変化率が極めて大きく、而も group I の如く液相線に於ける流動性変化率曲線に大きな変化点が認められないものがあつた。これは同一熔解の試料について2~3回の実験を行い何れも同様の傾向となつている。

次に group I の試料④⑧と同一熔解の銑鉄に熔銑100kgにつき0.7kgのAlを添加した試料につき測定した結果は、[4]、[8]の如く流動性の変化率が著しく増大して group II の試料と畧々同一の傾向を示した。而

もその傾きは group I の試料に於ける初晶析出後の傾きと全く同一であつた。

これ等試料の化学分析値は第1表に示す如く Al を添加したものは Al 0.2~0.5% を含有した。又次項にも示す如く熔銑中の [FeO] は Al の添加により減少している。以上の結果より見て実際に使用される古銑はその資料の履歴により温度に対する流動性の変化率は可成り大きな差異があるものと認められる。

今回の如く Z 変化率を同一試料より連続的に測定した場合は、前回発表した方法即ち、同一熔解の熔銑より 1 回毎に新に試料を採り、常に同一の静圧下に行つたものと及び小型タンマン炉にて同一温度に保つて 1 回毎に行つた実験結果に比しその変化率が稍々大であつた。

即ち温度の低下時間の経過と共に流出量の減少する割合が稍々大であつた。これは次ぎの項にも述べる様に冷却条件の異なること、実験中熔銑静圧が一定でなかつたこと及び熔銑の流出孔を通過する時間の経過と共に流出孔内面の表面状態の変化等により、若干の誤差を生じたものと推定されるが流動性変化の傾向を知るには充分である。

(3) 熔銑の Z の變化と熔銑中の酸素

C, Si, Mn, P, S 等に大差のないもので流動性の大きなもの (Z は小) 5 熔解, 小さなもの 5 熔解計 10 熔解につき温硝酸法による銑中のサンドを分析した結果を第2表に示す。流動性の大きなものは小さなものに比して一般に [FeO] が大であつた。更に又以上の中流動性の大きなもの 2 熔解については前述のサンド分析試料を

採取たし後熔銑中へ熔銑 100kg につき Al 0.7~0.8kg 添加し十分に [FeO] を除去した後その流動性を測定すると共にサンド分析試料を採取した。これ等を前と同様に温硝酸法で分析した結果は第2表の如くで、概ね次の如く要約出来る。

(a) Al 添加前流動性の大きなものは小さなものに比して Al 添加前のサンド (淡褐色又は茶色) 全量と Al 添加後のサンド (白色) 量との差が大であつた。Al の添加により生じた Al_2O_3 が実験操作の過程に於て大部分除去されると考えれば、流動性の比較的大なる熔銑中には [FeO], [MnO] 等が比較的多いことになる。

(b) Al 添加により各試料とも [FeO] は減少し流動性は小となつた。銑中の Al は 0.2~0.5% であつた。

(c) Al の代りに Fe-Si を添加したのも温度の低下と共に急激に流動性を減少している。この場合はサンド中には SiO_2 が多量に存在した。

温硝酸法による銑中 [FeO] の分析値はその精度が不充分であるため単にその傾向を推測するに足るのみである。

(4) 熔鋼の流動性

第1図に示す方法により銑鉄の場合と同様に高周波電気炉にて約 400kg の鋼を熔解し、1640°C にあげ 5 分間保つた後流動性測定用湯溜に入れ流出時間を測定した。Z の測定結果は第3表の通りであり、測定試料の化学成分を第4表に示した。試料 No 1, 2, 3, 4 は低 Ni-Cr 合金鋼で、何れも殆んど同様の性状のものであつたので

第2表 流動性 Z とサンドとの關係

試料採取量は 50kg, 分析値は重量 (g) を示す。

試料番號	Z	全残渣 (g)	[FeO]	[Al_2O_3]	[SiO_2]	サンドの色	出銑前添加物
67	9.20	0.0087	0.0015	0.0006	0.0063	薄茶	Al 0.7kg/100kg 銑
69	13.50	0.0079	0.0007	0.0011	0.0058	白	
70	7.71	0.0089	0.0022	0.0005	0.0060	薄茶	Al 0.7kg/100kg 銑
71	13.30	0.0048	0.0005	0.0013	0.0023	白	
24	7.40	0.0067	0.0014	0.0005	0.0058	薄茶	Al 0.7kg/100kg 銑
23	9.62	0.0047	0.0003	0.0005	0.0042	白	
1	9.00	0.0070	—	—	0.0063	薄茶	Al 0.7kg/100kg 銑
3	10.15	0.0083	—	—	0.0065	灰	
37	7.95	0.0052	0.0013	0.0004	0.0033	薄茶	Al 0.7kg/100kg 銑
38	9.57	0.0063	0.0006	0.0012	0.0052	灰	
41	8.60	0.0053	0.0014	0.0006	0.0035	薄茶	Fe-Si 1.5kg/100kg 銑
42	9.60	0.0257	0.0007	0.0011	0.0267	白	
22	9.71	0.0074	0.0005	0.0008	0.0050	薄	
25	7.58	0.0047	0.0016	0.0007	0.0020	〃	
31	9.64	0.0053	0.0006	—	0.0050	〃	
24	7.40	0.0067	0.0012	—	—	〃	
29	7.60	0.0048	0.0020	—	0.0027	〃	
43	9.58	0.0052	0.0012	—	0.0033	〃	

第3表 熔 鋼 流 動 性

No.	流水孔 水銀秒時 (sec)	熔銑流 出秒時 (sec)	流出溫度 (°C)	流 出 實 重 (g)	換算重量 (g)	Z	備 考
1	28.3	91.0	1545	3160	2960	9.12	} 低 Ni-Cr 鋼
2	29.6	89.5	1537	3020	2830	9.54	
3	23.9	90.7	1535	3450	2730	9.90	
4	29.0	91.6	1543	3025	2870	9.46	
平均						9.50	
5	29.0	88.0	1550	3020	2990	9.02	} 0.2kg/100kg Al 添加
6	27.1	85.0	1555	1950	1860	14.50	
7	26.1	90.3	1540	3320	2880	9.38	
8	28.3	90.6	1550	2190	2060	13.10	
5. 7の平均						9.20	} 0.2kg/100kg Al 添加 0.3% C 鋼
6. 8の平均						13.80	

第4表 化 學 成 分

No	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al
1. 2, 3, 4	0.38	0.32	0.78	0.031	0.034	1.63	1.09	
5. 7.	0.31	0.18	0.31	0.036	0.036	—	—	
6. 8.	0.31	0.18	0.31	0.036	0.036	—	—	

これ等の平均値をとつてこの溫度に於けるZとした。又 No 5, No 7 は 0.3% C の炭素鋼で高周波炉にて熔解したまゝ脱酸しないものについての測定値である。No.6 No.8 は No.5, No.7 に夫々熔鋼 100kg につき約 0.2 kg の Al を添加したものについて測定した結果である。即ち脱酸前のものはZが約 9.2 であるが Al 脱酸によりZは約 13 程度に増加している。実験後試料 No.5 の鑄型に鑄込んだものは脱酸不良であり、又 No.7 もやゝ脱酸不良と認められたが、No.6, No.8 を鑄込んだものは極めて良好な鎮靜状態であつた。

以上の結果は銑鉄についての実験結果と畧々同様である。

90秒間の熔鋼流出により流出孔の流出能力が変化するか否かを調査するため流出実験の前後に於て一定量の水銀が一定静圧の下に流出する時間を測定した結果は第5表の如くである。増加したものと減少したものとがあるので概ね変化しないもの考へて計算した。

第5表 熔鋼の流出孔に及ぼす影響

No.	熔鋼流出前		熔鋼流出後	
	溫 度	流出秒時	溫 度	流出秒時
1	26°C	29.0	21°C	29.6
2	29°C	24.0	24°C	23.7
3	20°C	29.5	18°C	28.7

熔銑の流出実験の場合については比較的溫度も低かつたので熔銑の流出により MgO 製流出孔の流出能力は殆んど変化しなかつたことを前回報告した。

又 1540°C に於ける熔鋼の推定比重は従来の研究³⁾より 7.15 とし 1250°C に於ける熔銑の推定比重は 6.9 とした。

(5) 實驗結果に對する考察

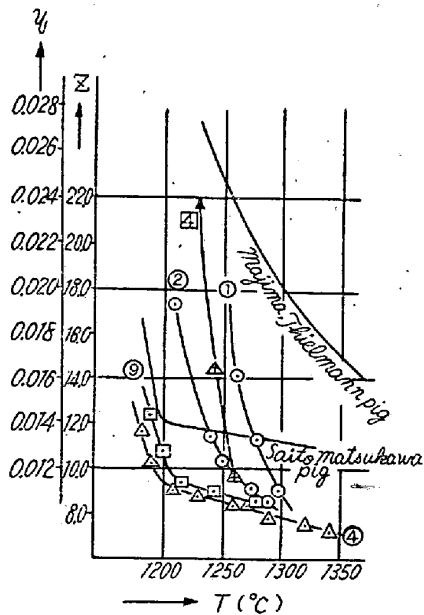
熔融状態より凝固するまでに流れた長さにより示される鑄鉄の流動性については古來多くの研究がある。

Piowarsky 氏等⁴⁾は一定溫度より渦巻型に注入しその流動した長さを測定した。又森田博士等⁵⁾や Sarjant Middleham⁶⁾ 両氏等は液相線上一定の溫度より直線形に注入して流動した長さを測定することにより鑄込溫度と液相線上の溫度差効果を除き、成分元素の流動性に及ぼす影響を調査している。然し前者は金型を使用し、後者は砂型を使用している。此の様に多くの貴重な實驗結果の間にはそれぞれ實驗の条件が一致していないばかりでなく、試料の状態も必ずしも一樣ではない為それ等を総合的にまとめることは困難である。

一般に使用されている熔銑について凝固する迄に流れた長さにより示される流動性Lと熔融状態に於ける流動性の逆数に近い値Zとの係関係を調査した。同一熔解の試料についてのZ-L 關係は一つの曲線となるが、異なる熔解の試料は夫々異なる曲線となつた。これはZが主とし

て熔融状態に於ける粘性により左右され、成分元素又は熔融温度により定まる熔融温度範囲Rの影響を受けることが少いのに対し、LはRの影響を受けることが大きく粘性の影響はRに比較すればむしろ小さいことによるものと考えられる。この実験は一般熔銑の液相線以上の温度に於て行われたもので、特殊の熔銑の如く T-Z 曲線が急なものについては多少異なる結果が得られるであろうと考えられる。

又鑄鉄の物理学的粘性については振動法により測定されたものには真島博士⁶⁾、Thielmann 氏等⁷⁾のものがあり又回転円筒法により測定されたものには斎藤、松川両博士の研究がある。後者の実験結果は Torgue で表わされているが粘性既知の物質を測定された成績でこれを換算して前者の実験結果と比較することが出来る。第6図はこれを図示した。即ち両者の間には全く異つた性質が現われている。



第 6 圖

本実験に於て各種の試料につき温度に対する Z の変化率を調査した結果は次の通りである。

(a) 普通の熔銑は第6図④⑨の如く斎藤、松川両博士の測定値と同じ傾向を示した。

(b) 試料によりては①②の如く流動性の変化率が極めて大であつて真島博士 Thielmann 氏の測定値と同一の傾向を示すものもあつた。然しこれ等は C, Si, Mn, P, S 等の分析結果よりは顕著な差異を見出すことが出来なかつた。

(c) 普通の熔銑試料に出銑前 Al 又は Fe-Si を添加して十分に脱酸したものは [4] の如く真島博士 Thiel-

mann 氏の測定結果に近い傾向を示し而もこれは普通の熔銑に就ての液相線以下の温度に於ける初晶折出後の曲線の傾きに類似している。

以上の事柄は前回発表した所の熔銑にその熔銑中の脱酸元素が急に増加する様な処置をすると、流動性は減少し、脱酸元素がある程度急に減少する様な処置をすると、流動性は減少せず、むしろ増加すると言う事実と密接な関係がある。即ち熔銑の流動性の大小並に温度変化に対する熔銑の流動性(粘性)の変化率を左右する主な因子は熔銑中の酸素と脱酸元素(酸化され易い元素)との平衡関係であろう。酸化され易い元素が過剰にあれば、酸化物としての折出効果により、或は又平衡状態にない場合即ち温度を低下しつゝ測定する場合等は過剰に溶解している金属元素そのものの折出効果により流動性は低下するものと考えられる。鋼の場合に於ては Al, Si 等の酸素に対する親和力は温度低下と共に大となる。この事柄が熔銑の場合にも適用されるとすれば、今回の如く一定の速さで温度を低下しつゝその温度に於ける測定を行う場合は酸化物の折出効果と言うことも一つの原因として考えられよう。

低 Ni-Cr 合金鋼及び中炭素鋼試料について 1540°C 附近に於て測定された Z の値は熔銑の場合と大差がなく熔鋼の方が稍々大であつた。(流動性は小となる。) 又出鋼前 Al を添加して十分に脱酸したものは Z が約 13 に増加し熔銑の場合と殆んど同じ傾向を示した。これ等の事柄から熔鋼の Z と熔鋼温度 T との関係は一般に熔銑の場合とその傾向については大差がないものと考えられる又製鋼作業に於て出鋼前 Al にて充分脱酸したものの流動性がやゝ低下することは現場的にはしばしば見受けられる所であり、又高尾、荒木両氏等⁹⁾の研究結果も過度に脱酸した熔鋼の流動性が低下することを報告している。この実験結果は前述の事柄と概ね一致したが熔鋼中の酸素が過度に増加した場合については実験を行わなかつたので不明である。

本研究は東北大学の場教授の御懇切なる御指導によるものであり、更に又日本ニッケル株式会社関係各位の多大なる御援助によるものである。ここに厚く感謝の意を表す。(昭和 28年 6月 寄稿)

文 献

- 1) 小池: "鐵と鋼" 39, no.9 (1953) 948
- 2) Basic Open Hearth Steel Making (1951)
- 3) Piwowarsky: Eisen-u. Stahlguss (1937 Düsseldorf) 145

- 4) 森田, 宮岡: 昭和 27 年 4 月日本鐵鋼協會講演大會にて發表
 5) Sarjant Middelham: J. Iron and Steel Inst. (1930) Special Rep. No. 5 p 43
 6) 眞島: 理研 3 (1924) 51
 7) H. Thielmann: Stahl u Eisen 47 (1927) 389
 8) 齋藤, 松川: 鐵と鋼, 17 (1942) 502
 9) 高尾, 荒木: 昭和 26 年 4 月日本鋼鋼協會講演大會にて發表

高速度工具に関する研究 (XVI)

(昭和 28 年 4 月本会講演大会にて講演)

堀田 秀次*・立川 逸郎**

STUDY ON THE HIGH SPEED TOOLS (XVI)

Hideji Hotta, Dr. Eng., Itsuro Tatsukawa

Synopsis

Following the 15th report (Tetsu-to-Hagané, 39, June 1953, No. 6, 614~619), the tempering behaviour of a C 0.65%, W 15.92%, Cr 4.30%, V 0.76% and Co 2.64% high speed steel variously austempered was studied by means of dilatometric and micrographic examination and hardness test.

The results obtained were summarized as follows:

(1) Austempering at 600°C did not cause the isothermal transformation of austenite, but appeared to condition the austenite so that lower-bainite would form on the cooling process at the expense of martensite and austenite, and consequently decreased the amount of martensite and retained austenite at room temperature. As a result, after this austempering the initial softening on tempering at 300°~400°C little occurred.

(2) After austempering at the temperature range of 250~300°C with the resultant isothermal transformation of austenite to acicular lower-bainite, the final structure contained a little martensite and appreciable quantities of retained austenite, which decreased the hardness at room temperature and caused a large amount of secondary hardening on tempering.

(3) The formation of lower-bainite in austempering, regardless of either on isothermal process or on cooling process, appeared to increase the stability of retained austenite so that the subsequent secondary Ar'' transformation was more difficult to occur than that after oil quenching.

I. 緒 言

著者等の内の一人(堀田)は高速度工具に関する研究として既往に於て各種の研究発表^{1)~14)}を行つたのであるが、第 15 報¹⁵⁾に於て著者等は高速度鋼の熱浴焼入に就て研究し次の結果を發表した。即ち第 3 種高速度鋼に就て種々の熱浴焼入後の焼戻性を硬度測定並びに検鏡によつて正較検討し、主として次の二の場合に普通油焼入、焼戻のものと同様の焼戻硬度曲線を示すことが判つた。(i) 比較的高温例えば 600°C で熱浴焼入したものは、その恒温保持中にオーステナイトの恒温変態が生起

せず、したがつて冷却後は油焼入のものと略々同じ硬度を有するが、焼戻に際しては所謂一次軟化が少い。(ii) 250°~350°C の中間段階に於ける熱浴焼入で下ベイナイト(lower bainite)を生成せるものは焼入硬度は低い、が、焼戻に於ては一次軟化が殆どなく、且著しい二次硬化を示して最高硬度は油焼入又は他の温度(400°~600°C)で熱浴焼入せるものの焼戻で得られる値とほぼ同じになるが、その焼戻温度は他のものに比して多少高い。

* 熊本大學工學部, 冶金學教室, 工博
 ** " 機械工學教室