

(4) 粒界反応により生じた大きな析出物も時効の再現性に影響を示さなかつた。

文 献

- 1) 金尾, 青木: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 1097
- 2) 三島, 橋口, 木村: 日本金属学会誌, 21 (1957), p. 187
- 3) 古川: 日本金属学会誌, 28 (1964) 3, p. 121
- 4) A. J. BRADLEY: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 163 (1949), p. 19
- 5) G. C. GOULD, H. J. BEATTIE: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 221 (1961), p. 893
- 6) A. J. BRADLEY, A. TAYLOR: Proc. Roy. Soc. (London), A 159 (1937), p. 56
- 7) E. HORNBÖGEN, M. MUKHERJEE: Z. Metallkunde, 55 (1964) 1, p. 36

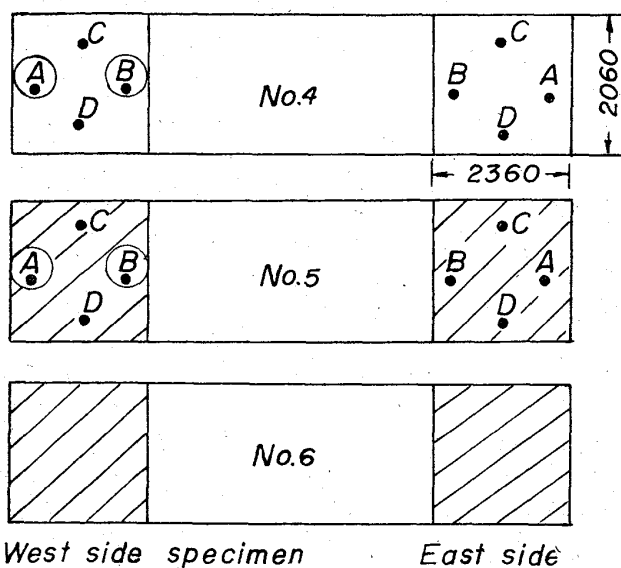


Fig. 1. Collecting positions of No. 2 battery tube.

(137) 均熱炉タイルレキュペレーターチューブの使用後の損傷原因調査

住友金属工業, 中央技術研究所

理博 鈴木和郎・○平岩 修・花田千昭

Investigation of Cause of Failure on the Used Tile Recuperater Tube at the Soaking Pit.

Dr. Kazurō SUZUKI, Osamu HIRAIWA and Chiaki HANADA.

1. 結 言

小倉製鉄所分塊工場均熱炉は昭和 37 年 3 月から操業されたのであるが, この均熱炉はアームコ型タイルレキュペレーターが使用されている。しかるにタイルレキュペレーターチューブ (以下チューブ) が予想外の短時間で亀裂, 破損した。このため解体修理した No. 2 バッテリー均熱炉より使用後の損傷したチューブを採取し, 損傷原因について調査検討を行なった。

2. 供 試 料

試料の採取位置は Fig. 1 に示すごとくである。

3. 試 験 結 果

3.1 外観並びに切断面観察

損傷状態はほとんど縦方向に亀裂がみられ, 亀裂面は空気の当る側⊙, もしくは空気の逃げる側⊕が多い傾向であつた。切断面の内面は付着物により上段はうぐいす色を呈し, 下段は薄緑色を呈していた。

切断面の内部側は No. 4 ピット, No. 5 ピットの A 列はいずれもうぐいす色を呈し, 浸透は上段より下段に向つて少なくなつていた。B 列では A 列よりいずれも着色は少なく, また下段では No. 4 ピット; No. 5 ピットともに原煉瓦の切断面に近い状態であつた。

3.2 化学成分

3.2.1 チューブ内面付着物

No. 4 ピット西側 A 列および No. 5 ピット西側 A 列の供試チューブ内面に付着せる粉末を採取し, 化学分析を行なった結果は Table 1 に示すごとくである。

No. 4 ピットの排ガス温度の高い 1 段目, 2 段目では付着物はなかつた。付着物の主成分は SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Cr₂O₃, S であつて, チューブの成分以外の Cr₂O₃, S の含有が比較的多くみられた。とくに S はチューブ上段よりは下段に多い傾向であつて, Cr₂O₃ は中段の 3 段

Table 1. Chemical composition of depositions on inner surface of tube (%).

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	S	Cr ₂ O ₃
No. 4 pit west side A line	1	no deposition							
	2	"							
	3	6.78	10.02	10.38	0.47	0.65	0.55	1.80	15.42
	4	3.41	5.40	9.39	0.41	0.39	0.40	14.54	12.71
	5	4.47	5.16	4.59	0.76	0.60	0.20	18.20	3.04
	6	9.42	12.41	6.59	0.18	0.37	0.14	14.30	1.52
No. 5 pit west side A line	2	42.53	27.89	3.39	0.15	0.43	0.78	1.68	1.65
	3	6.92	8.42	14.57	0.38	1.16	0.93	10.58	21.84
	4	5.77	8.86	8.98	0.18	0.57	0.58	13.65	12.71
	5	4.15	3.65	5.19	0.56	0.68	0.13	17.11	4.43
	6	3.94	14.70	2.40	0.15	0.18	0.25	15.82	0.66

目, 4 段目が多く含有していた. また Fe_2O_3 も Cr_2O_3 と同じ傾向であつた.

No. 4 ピットと No. 5 ピットにおいては顕著な差はみられなかつた. S は燃料の C 重油から SO_2 となつて排ガス中の灰分, スケール等とともにチューブ内面に付着したものと考えられる. Cr_2O_3 はチューブ中段に多く含有していたが, 特殊鋼のスケールによるものと考えられるが, Fe_2O_3 と大差のない含有量であるために推測は困難である.

3.2.2 チューブ

No. 4 ピット西側 A 列は 1 段目~5 段目までは内面側, 排ガス温度のもつとも低い 6 段目は外面側から試料を採取して化学分析を行なつた.

No. 5 ピット西側 A 列は 2 段目~4 段目までは内面側と外面側よりそれぞれ試料を採取し, 5 段目, 6 段目は外面側から試料を採取して化学分析を行なつた. その結果は Table 2 に示す. なお比較のため同質のシャモット質未使用チューブの化学成分を併記した.

使用後のチューブ内面側はチューブ内面付着物中の含有率の高い S の侵透が顕著であつた. S の侵透は No. 4 ピットにおいては 3 段目, 4 段目に多く, 上段より下段に若干多い傾向を示した. また No. 5 ピットでも 3 段目, 4 段目に比較的含有率が高く, 外面側の侵透は 2 段目と 6 段目に多くみられた. チューブ内への S の侵透はチューブの主成分の Al_2O_3 と反応し Table 3 に示すごとく, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ が検出された.

Table 2. Chemical composition of the tube (%).

			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	S	Cr_2O_3	Ig. loss
No. 4 pit west side A line	1	in	50.60	38.82	2.71	0.38	0.27	1.10	0.50	0.10	1.47
	2	//	50.60	39.70	3.35	0.58	0.13	1.10	0.43	0.13	1.34
	3	//	47.92	36.93	2.71	0.29	0.28	1.05	2.13	0.34	6.98
	4	//	48.90	36.23	2.51	0.32	0.18	1.10	2.19	0.34	7.68
	5	//	51.60	38.60	2.71	0.41	0.29	1.08	0.99	0.06	3.93
	6	out	49.42	37.35	2.87	0.35	0.27	1.05	1.52	Tr	7.40
No. 5 pit west size A line	2	in	45.45	34.40	2.99	0.32	0.26	1.04	1.36	0.12	4.11
		out	48.11	39.80	3.35	0.58	0.35	1.10	1.44	Tr	3.90
	3	in	48.89	34.74	2.99	0.11	0.14	0.73	1.74	0.16	6.06
		out	53.04	38.11	2.40	0.35	0.25	1.16	0.41	Tr	1.56
	4	in	56.92	35.11	2.40	0.08	0.09	0.68	3.06	0.04	0.09
		out	52.53	38.73	2.20	0.08	0.06	0.85	0.51	Tr	1.84
	5	//	53.03	40.23	2.20	0.14	0.16	0.85	0.26	Tr	1.38
		//	50.65	37.49	2.79	0.14	0.16	0.78	1.22	Tr	6.66
Before use			53.70	39.28	1.74	0.29	0.34	2.22	—	—	0.33

Table 3. X-ray analysis of tube.

			Cristobalite SiO_2	Mullite $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	Orthoclase $\text{KAl} \cdot \text{Si}_3\text{O}_8$	Aluminium pota- ssium sulfate $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$	α -alumina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
No. 4 pit west side A line	1	in	S	S	W	—	—
	2	//	S	S	W	—	—
	3	//	S	S	W	W	—
	4	//	S	S	VW	W	—
	5	//	S	S	—	—	—
	6	out	S	S	VW	W	—
No. 5 pit west side A line	2	in	S	mW	S	W	mW
		out	S	S	WW	—	—
	3	in	S	S	—	—	—
		out	S	S	—	—	—
	4	in	S	S	VW	mW	—
		out	S	S	—	—	—
	5	in	S	S	—	—	—
		out	S	S	—	—	—
Before use			S	S S	—	—	—

3.3 一般物理的性質

No. 4 ピット西側 A 列および No. 5 ピット西側 A 列の各段について、気孔率、吸水率、見掛比重、嵩比重、耐火度、常温圧縮強度を測定した結果は Table 4 に示すごとくである。なお比較のため同質のシャモット質未使用チューブの一般物理的性質を併記した。

No. 5 ピット 2 段目の内面側の変質は烈しく、Table 3 の X 線回折結果に示すごとくムライトが分解し、正長石に大半が変質し耐火度においても他の供試料は SK 33~34 を示したが、このものは SK 29 を示し大きく低下していた。

3.4 熱間特性

チューブ内における排ガスの燃焼によるチューブの組織変化および変質による物性変化を検討するために 1100°C、1300°C および 1400°C に加熱後の残存膨張収縮率を測定した。測定結果は Table 5 に示す。

高温強度については 300、500、700、900、1000、1100、1200°C の各温度における圧壊強度を測定したが、Fig.

2 に示すとき結果であつた。

3.5 耐スポーリング性

本実験においては比較的实际に近いと考えられるスポーリング試験装置で検討を行なつた。

すなわち 600 mm φ × 230 mm φ のマッフルを 2 コのプロパンバーナーを用いて約 1300°C に加熱し、供試料のシャモット質未使用チューブはフランジを用いず 6 段重ねをし、チューブ内に熱風を送りチューブ外周は 4 段目よりブローにて冷風を送つてチューブ内面と外面に温度差を与えて加熱を行なつた。各測温箇所の最高温度は Fig. 3 に温度上昇曲線並びに冷却せる場合の下降曲線とともに示す。

3.6 顕微鏡組織

供試料チューブの顕微鏡組織を観察した結果、操業中の炉況の比較的良好で、また亀裂の少なかつた No. 4 ピットにおいては茶褐色の紐状物質の沈積が顕著に観察され、とくに化学分析において S の含有量の多い No. 4 ピットの 4 段目、6 段目は比較的鮮明であつた。これら

Table 4. General physical properties of the specimens.

		refractoriness SK	apparent porosity(%)	water absorption (%)	apparent specific gravity	bulk specific gravity	Compressive strength (at room temp.) kg/cm ²	expansion ratio at 1000°C (%)
No. 4 pit west side A line	1	33+	21.6	10.1	2.74	2.15	290	—
	2	34-	22.2	10.4	2.75	2.14	190	0.65
	3	33+	22.0	10.3	2.73	2.13	270	—
	4	33+	22.7	10.7	2.72	2.11	180	0.73
	5	33+	22.6	10.7	2.70	2.11	220	—
	6	34	24.1	11.7	2.71	2.06	310	0.74
No. 5 pit west side A line	2	29	26.7	13.2	2.76	2.02	260	0.63
	3	34+	19.8	9.0	2.74	2.19	355	—
	4	34+	23.3	11.1	2.72	2.08	235	0.72
	5	34	22.8	10.8	2.72	2.10	175	—
	6	34+	22.9	11.0	2.70	2.08	275	0.75
	Before use		34+	22.4	10.4	2.78	2.16	250

Table 5. Residual expansion or shrinkage ratio.

heat	1100°C × 2 hr		1300°C × 2 hr		1400°C × 2 hr		
	outer side	inner side	outer side	inner side	outer side	inner size	
No. 4 pit west side A line	1	-0.20	+4.20	-0.39	+8.19	no measurement	
	2	-0.14	+3.80	-0.39	+8.20	no measurement	
	3	(-0.11)	+2.40	-0.20	+2.55	-1.50	+5.09
	4	(-0.10)	+2.05	-0.19	+2.25	-0.78	+3.80
	5	0	0	0	0	-0.82	0
	6	0	0	0	0	-0.78	0
No. 5 pit west side A line	2	-0.13	+5.08	impossible to measurement		no measurement	
	3	-0.11	+3.53	-0.20	+3.73	-1.98	+6.45
	4	(-0.10)	+2.47	-0.19	+3.34	-1.21	+2.52
	5	0	0	0	0	-0.81	0
	6	0	0	0	0	-0.60	0
	Before use		0	0	0	0	-0.59

(): Presuming value.

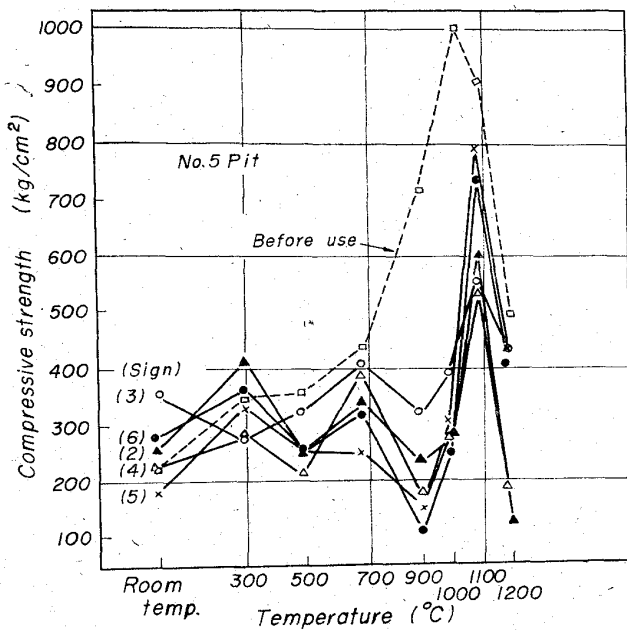


Fig. 2. Strength at high temperature.

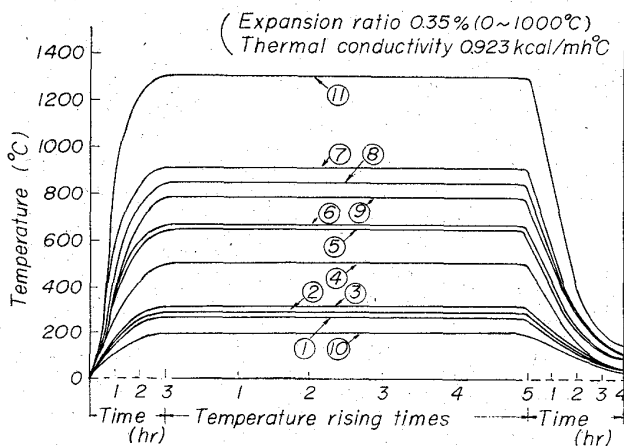


Fig. 3. Heating curves of the recuperator tube. (schamotte bricks)

の供試チューブはX線回折により $KAl(SO_4)_2$ が同定されたが、この茶褐色の紐状物質は $KAl(SO_4)_2$ により生じたものと考えられる。No. 5 ホール4段目においても $KAl(SO_4)_2$ がわずかに同定されたが顕微鏡においても観察された。全体的にみて未使用品と比較して熱影響、変質によりシャモット粒と結合部は不鮮明となり、またシャモット粒中のムライトの結晶群は微晶質となり熱影響の比較的少ない下部においても原煉瓦組織から若干変化していた。

4. 考 察

供試チューブにおいては変質により亀裂したのか、操業条件が苛酷でスポーリングによる亀裂発生により漏風率が高くなって燃焼が炉内で不完全となり、チューブ中で局所的な燃焼を起こして異常な高温となり、チューブ内面の付着物がチューブ内に侵透して変質し熱影響に対して脆弱となって亀裂発生の原因になったかは十分に解明できなかった。しかしチューブの耐スポーリング性を向上せしめて不純物の侵透を低減せしめるために、気孔

率を現用より低下せしめるとともにピット内の排ガスの流れ方がピット全面に均一ならしめることは考慮する必要があると思われる。また上段の1段目、2段目の損傷がもつとも起こりやすいため漏洩率が高くなることが確認できればチューブ内での燃焼防止のため1段目、2段目を早急に取替える方が作業能率、経済面からは良好と考えられる。再加熱収縮試験において上段チューブ試料は大きく膨れ悪臭ガスを発生したので、これに対しては今後ガスクロマトグラフによりガス組成を調べて変質層の解明を行ない、チューブの損傷防止に対しては品質改善の手掛りが得られるものと考えられる。

5. 結 言

均熱炉レキュペレーターチューブの亀裂、破損の原因を検討するために、解体チューブについて調査試験した結果を要約すると次のごとくであった。

(1) チューブ内面に付着したものは SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , S であつて、チューブの成分以外の Cr_2O_3 , S の含有が多く、とくに燃料の重油から生じた S はチューブの上段より下段に多い傾向であつた。

(2) チューブ内面は変質し、とくに上段・中段ははなはだしく変質し、 $KAlSi_3O_8$ (正長石), $KAl(SO_4)_2$ (カリ明礬) が検出された。

(3) 物理的性質は顕著な変化はみられなかったが変質層は残存膨張が大きく、また高温強度は未使用品より30~50%低下していた。

(4) 耐スポーリング性 (実体) は形状にも問題はあがるが若干弱いと考えられるので、スポーリングに対する特性を向上せしめるとともに不純物の侵透に対しても気孔率を小さくして品質を向上せしめるべきものと思われる。

(5) 変質層を再加熱した場合は悪臭ガスが発生するので、このガスについてはガスクロマトグラフにより組成を調査し、変質層の解明からチューブ煉瓦の変質原因とその改善並びに燃料等に対する手掛りが得られるものと考えられる。

(138) 分塊圧延における塑性変形の検討 (RI の塑性変形研究への利用—I)

富士製鉄, 広畑製鉄所

佐伯欣一・工博 宮川一男・○野村悦夫

神崎昌久・吉用明峻

Metal Flow in the Slab Rolling Process.

(Application of RI tracer to the study of plastic deformation of steel—I)

Kin-ichi SAEKI, Dr. Kazuo MIYAGAWA,
Etsuo NOMURA, Masahisa KŌZAKI
and Akitoshi YOSHIMUCHI.

1. 緒 言

熱間圧延時の塑性変形の研究は、A. HOLLENBERG¹⁾, N. MEIZ²⁾, L. WEIB³⁾ らにより、模型実験や実験用圧延機による研究例は多いが、現場の大型圧延機を使用した Metal flow の研究⁴⁾ は比較的少ない。分塊圧延における塑性変形の観察は、スラブの終端に発生する“Fish