

石川島播磨重工業（株） 技研 ○齋藤吉之 美野和明

1. 緒言

原子力発電プラントでは、バルブの耐磨耗特性、特に耐かじり特性を向上させるため、コバルト基合金ステライトを肉盛して使用している（使用温度：約300℃）。

しかし、コバルトは放射化し、プラントの点検作業員の被曝の要因となる。このため、原子力発電プラントにおいてはコバルトフリー耐磨耗材の開発が熱望されている。

本研究では、ステンレス鋼をベースとしたコバルトフリー耐磨耗材料を開発し、その優れた耐すべり磨耗特性、耐かじり特性の要因について考察した。

2. 供試材

高マンガン鋼SUH35をベースにモリブデン(Mo)もしくはタングステン(W)を添加し開発合金を溶製した。Mo量は約6wt%～14wt%の範囲で、W量は10wt%～16wt%の範囲で変化させた。溶解には真空高周波溶解炉を用い、約40mmφの丸棒に鋳込みそこから試料を切り出した。溶解雰囲気は0.1MPaのアルゴンとした。また、比較材としてStellite 6、Norem B1を用意した。Stellite 6は従来より使用されているコバルト基の耐磨耗肉盛材、Norem B1は米国EPRIが開発した鉄基のコバルトフリー耐磨耗肉盛材である。Table 1に供試材の組成を示す。

3. 試験方法

1) すべり磨耗試験

Table 1 Chemical composition of test materials [wt%]

	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	W	C	N	Fe	Co
6MLN	19.6	3.7	8.6	5.7	-	-	0.53	0.14	Bal.	-
8MLN	19.1	3.5	8.3	8.2	-	-	0.51	0.13	Bal.	-
10MLN	20.7	3.2	8.1	9.8	-	-	0.51	0.15	Bal.	-
12MLN	18.4	3.4	8.0	11.5	-	-	0.52	0.14	Bal.	-
13MLN	20.0	3.3	8.4	12.9	-	-	0.48	0.12	Bal.	-
14MLN	19.7	3.3	8.3	14.2	-	-	0.46	0.13	Bal.	-
10WLN	20.2	2.9	8.0	-	-	9.9	0.47	0.04	Bal.	-
13WLN	19.7	3.1	8.1	-	-	13.0	0.46	0.04	Bal.	-
16WLN	18.0	2.3	6.9	-	-	16.4	0.45	0.03	Bal.	-
Norem B1	25	4	8	2	3	-	1	-	Bal.	-
Stellite 6	28	-	-	-	-	5	1.2	-	-	Bal.

耐すべり磨耗特性の評価は大気中無潤滑下、共材同士でPin on Disk型のすべり磨耗試験機により行なった。Pinの直径は4mmである。試験温度は300℃、すべり速度は0.04m/s、荷重は105Nである。試験結果で使用される比磨耗量は以下の式で表される。

$$\text{比磨耗量} = \frac{\text{磨耗による体積減少(Pinとディスクの合計)}}{\text{試験荷重} \times \text{摺動距離}}$$

2) かじり試験

耐かじり特性試験はDisk上に直径4mmのPinをのせ3700N荷重し、Pinを中心に1回転させ、摺動面の試験前後の中心線平均粗さ(Ra)の差 ΔRa を測定することで評価した。試験はすべて300℃、大気中、共材同士で行った。

4. 結果と考察

1) 耐磨耗特性

Fig.1に開発材の耐すべり磨耗特性を示す。Moが8wt%以下では切削型磨耗が生じ、10wt%以上では切削型磨耗が生じなかった。組織はFig.2に示すようにMoが10wt%以上ではネットワーク状の χ 相と粒内の χ 相+ γ 相からなるのに対し、8wt%以下では γ 相のマトリックス中に χ 相と $M_{23}C_6$ 炭化物が分散した組織となる。また、WをMoの代わりに添加した13WLN材では10wt%以上のMoを含む材料と同様の組織となり、切削型磨耗は生じない。これ

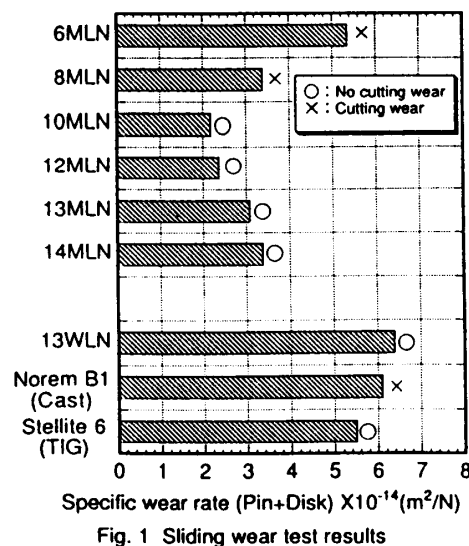


Fig. 1 Sliding wear test results

らのことより、切削型磨耗は組織的な要因に支配されると考えられる。

一方磨耗量については13WLN材はMo添加材と比較して約2倍の磨耗量となっている。両者の組織は似ていることから、この耐磨耗特性の違いはWとMoの違いにより生じると考えられる。すなわちMoは低剪断強度の酸化皮膜を形成するが、Wの酸化皮膜 WO_3 はMoの酸化皮膜ほど低剪断強度でないためである。 WO_3 に関してはモース硬度5という報告があるが、 MoO_3 はモース硬度1.5程度であり、グラファイトや二硫化モリブデンと同程度とかなり柔らかく、低剪断強度を示し固体潤滑材として働くと考えられる。なお、10MLN, 12MLNはStellite 6, Norem B1より2倍以上優れた耐磨耗特性を示し、W添加材(13WLN)は、ほぼ同程度の耐磨耗特性を示した。

2) 耐かじり特性

Fig.3, Fig.4に開発材の耐かじり特性を示す。Mo添加材においては10wt%Mo以上、W添加材におい

ては13wt%W以上でStellite 6, Norem B1を上回る優れた耐磨耗特性を示した。すなわち、耐磨耗特性の場合と同じようにネットワーク状の χ 相と粒内の χ 相+ γ 相からなる組織で優れた特性を示している。また、W添加材とMo添加材では耐かじり特性に大きな差はみられなかった。これらより、耐かじり特性においては組織の影響が支配的であり、添加元素の種類による影響は少ないといえる。

5. 結言

- 1) 耐磨耗, 耐かじり特性に優れたCoフリー材を開発した。Stellite 6, Norem B1よりも優れた耐磨耗特性, 耐かじり特性を示す。
- 2) 上記材料の耐磨耗特性が優れるのは、組織と、Moの影響の両方による。
- 3) 優れた耐かじり特性は特徴的な組織に起因するもので、添加元素の影響ではないと考えられる。

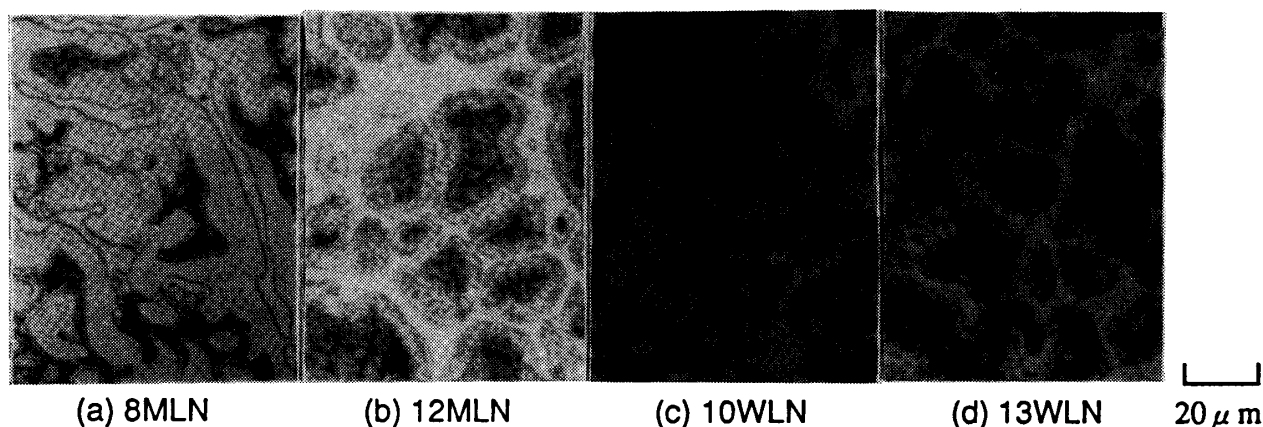


Fig. 2 Microstructure of developed alloys

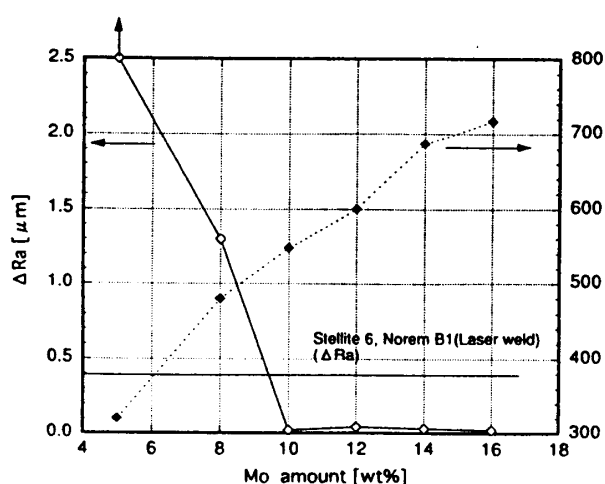


Fig. 3 Gallings test results and hardness of Mo added materials

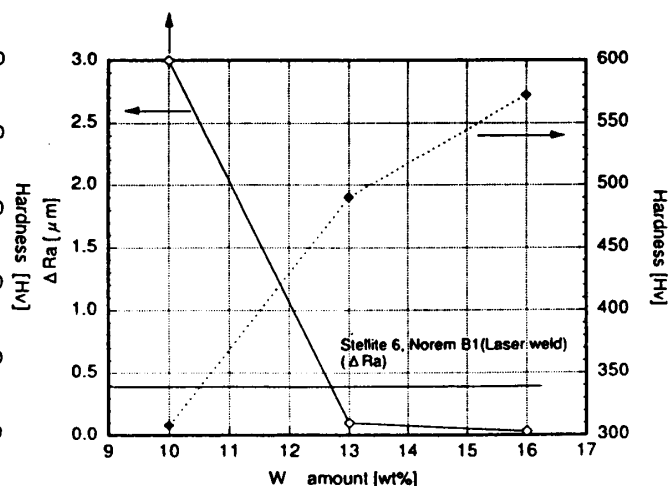


Fig. 4 Gallings test results and hardness of W added materials