



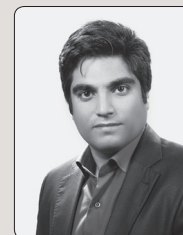
آنالیز عنصری

روغن توربین

(بخش نهم - قسمت اول)

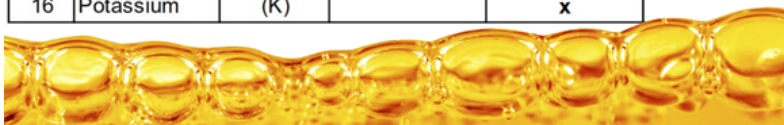


سعید کردی زاده
شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا
Site@kordizade.com



آنالیز عنصری روغن ابتدا در صنایع لوکوموتیو مورد استفاده قرار گرفت. در روغن توربین علاوه بر هیدروکربن، عناصر دیگری هم وجود دارد. همان‌طور که در تصویر (۹-۱) مشاهده می‌کنید، منشأ این عناصر سایش‌ها، ادتیوهای روغن و آلودگی‌های محیط است.

Item	Element	Symbol	Wear	Contam	Additive
1	Iron	(Fe)	x	x	
2	Copper	(Cu)	x	x	x
3	Chromium	(Cr)	x		
4	Tin	(Sn)	x		
5	Aluminum	(Al)	x	x	
6	Lead	(Pb)	x		
7	Silicon	(Si)		x	x
8	Sodium	(Na)		x	x
10	Boron	(B)		x	x
11	Calcium	(Ca)		x	x
12	Magnesium	(Mg)		x	x
13	Zinc	(Zn)	x		x
14	Phosphorous	(P)		x	x
15	Molybdenum	(Mo)			x
16	Potassium	(K)		x	

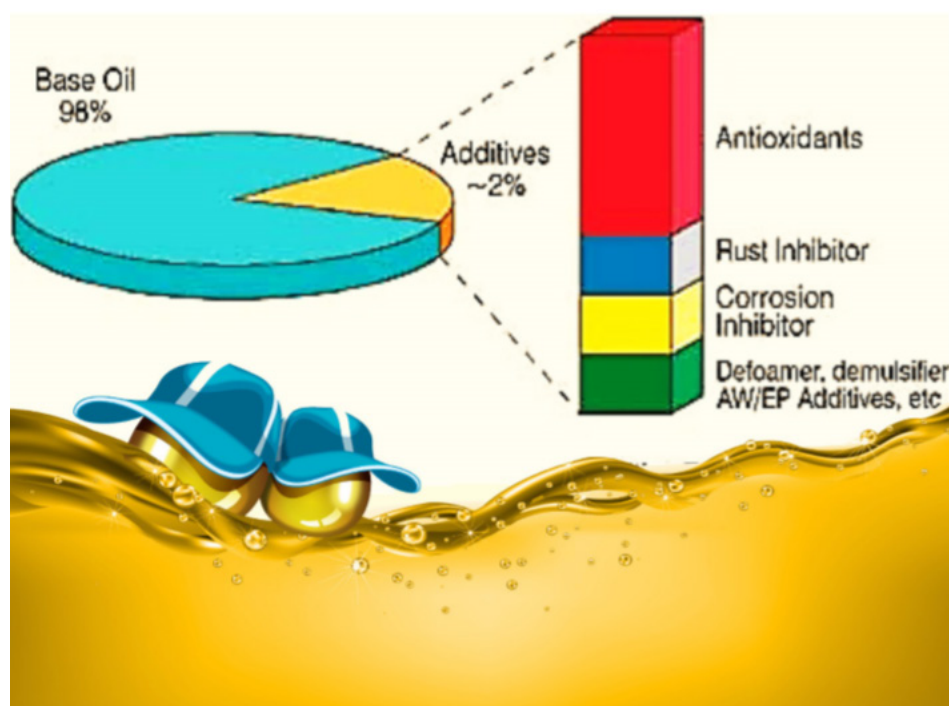


تصویر (۹-۱) - منشأ عناصر موجود در روغن توربین

به عنوان مثال کروم (Chromium)، آهن (Iron) و مس (Copper) در پدهای یاتاقان تراست توربین وجود دارد. ترکیبات آلی فسفر (Phosphorus) و گوگرد (Sulfur) مانند پلی سولفیدهای آلی، فسفات‌ها، دی تیوفسفات‌ها و دی تیو کاربامات به عنوان ادتیوهای ضدسایش (AW) و فشار بالا (EP) استفاده می‌شوند. ادتیوهای (EP) روغن، فیلم‌های محافظ بسیار بادوامی را از طریق واکنش ترموشیمیایی با سطح فلز تشکیل می‌دهند. این فیلم تشکیل شده در برابر حرارت‌های بالا و فشارهای مکانیکی مقاوم است. این فیلم از تماس مستقیم بین سطوح فلزی جلوگیری می‌کند و در نتیجه خراش و سایش را کاهش می‌دهد. باریوم (Barium) به دلیل خاصیت بازدارندگی از خوردگی، به روغن توربین اضافه می‌شود. سدیم (Sodium) و پتاسیم (Potassium) نیز آلودگی‌های محیطی هستند.

ادتیوهای روغن توربین:

همان‌طور که در تصویر (۳-۹) مشاهده می‌کنید، ادتیوهای روغن توربین ۲٪ وزنی کل روغن را تشکیل می‌دهند. نیمی از ادتیوهای روغن، ادتیو آنتی اکسیدان می‌باشند.

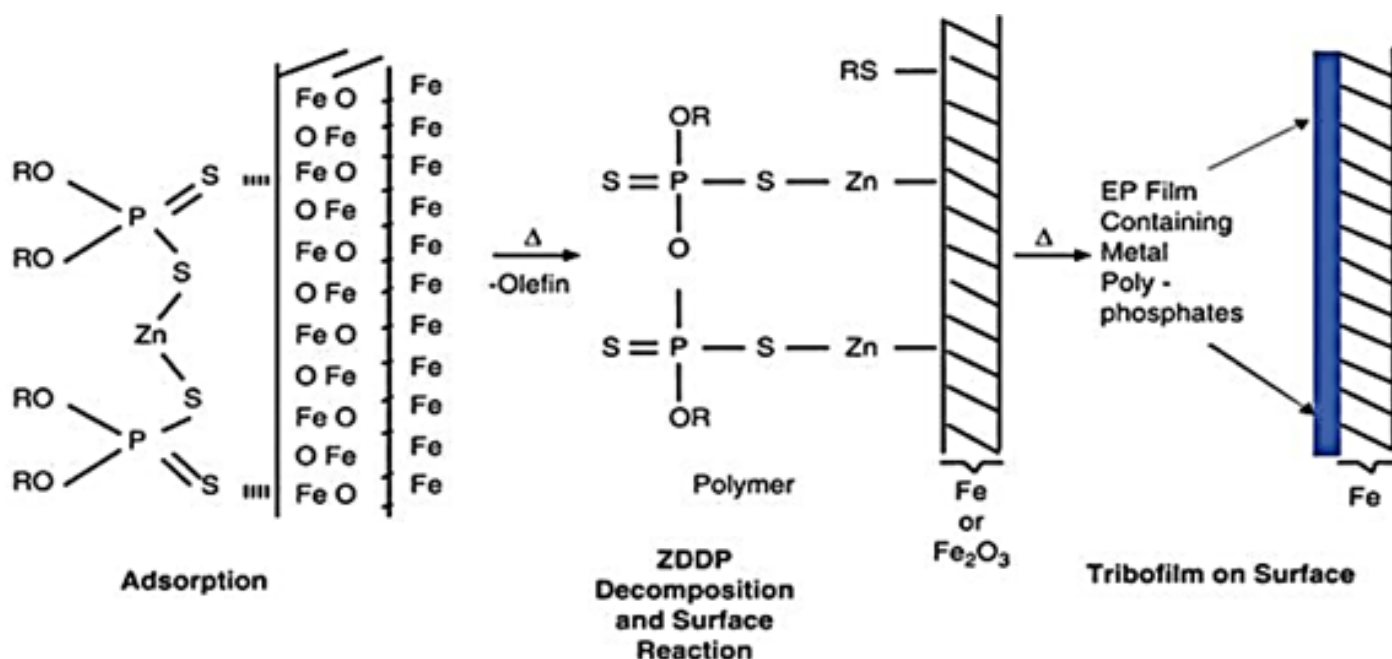


تصویر (۲-۹) - ادتیوهای روغن توربین

عنصر مولیبدن در ترکیبی مانند دی سولفید مولیبدن (Molybdenum Disulfide) به عنوان ادتیو تعدیل کننده اصطکاک در روغن توربین استفاده می‌شود.

عنصر روی (Zn) به عنوان ادتیو ضدسایش (Anti-Wear) و در محصولی تجاری به نام "دی آلکیل دی تیو فسفات روی Zinc dialkyl dithio phosphate (ZDDP)" استفاده می‌شود.

همان‌طور که در تصویر (۲-۹) مشاهده می‌کنید، ZDDP با سطح فلز واکنش می‌دهد و یک لایه حفاظتی با اصطکاک پایین ایجاد می‌کند. این لایه حفاظتی در حد یک یا چند مولکول در دمای پایین روی سطح فلز جذب می‌شود و زمانی که دما افزایش یابد، جذب شیمیایی ZDDP اتفاق می‌افتد.



تصویر (۳-۹) - ادتیو ZDDP روغن توربین

تیتانیوم (Ti) یک افزودنی ضد سایش جدید و موافق با محیط‌زیست است که به جای ترکیبات مضر فسفوری مانند ZDDP به کار می‌رود. تیتانیوم با سطوح در معرض فرسایش پیوند شیمیایی برقرار می‌کند و لایه اکسید تیتانیوم تشکیل می‌دهد. این لایه اصطکاک را کاهش می‌دهد و در نتیجه فرسایش کاهش می‌یابد.

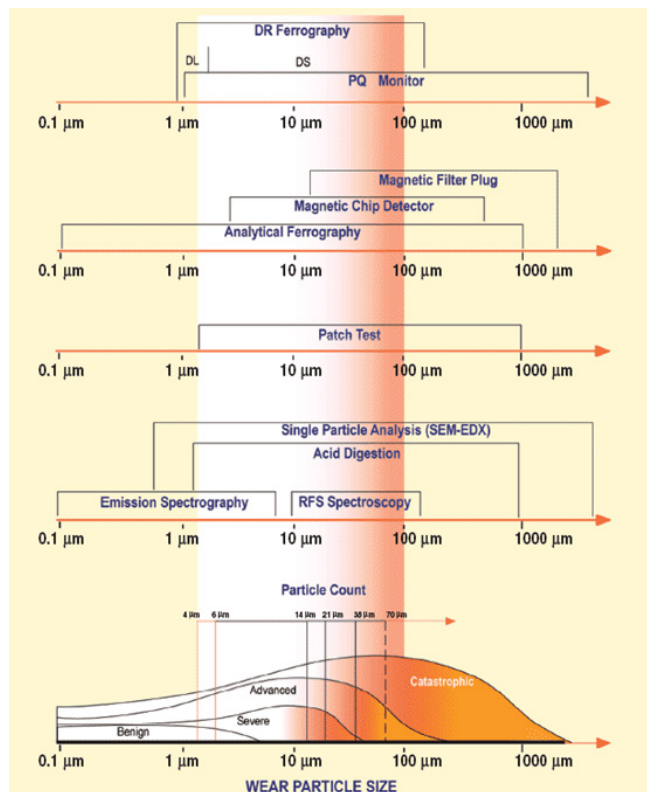
بعضی عناصر مثل سیلیکن (Silicon)، هم در آلودگی‌ها و هم در ادتیوها وجود دارند. گرد و غبار هوا می‌تواند منشاء آلودگی روغن به سیلیس باشد. از طرفی سیلیکن به عنوان ادتیو آنتی‌فوم و در ترکیباتی مانند سیلیکون متیل (Methyl Silicone) به روغن افزوده می‌شود. اکنون ممکن است که شما سؤال کنید: "چگونه منشاء اصلی سیلیس در روغن توربین را تشخیص دهیم؟"

در پاسخ باید به شما بگویم: سیلیس به عنوان یک ساینده سه بُعدی عمل می‌کند؛ بنابراین اگر منشاء سیلیس موجود در روغن آلودگی محیط و گرد و غبار باشد، بایستی در آنالیز روغن توربین، عناصر دیگری مانند آلومینیم و آهن نیز افزایش یابند. به عنوان یک قاعده تجربی در صورتی که نسبت سیلیس به آلومینیم ۵ تا ۱۰ باشد، به احتمال زیاد منشاء سیلیس آلودگی است، در غیر این صورت سیلیس به عنوان ادتیو به روغن افزوده شده است.

در فرمولاسیون اکثر ضدیخ‌ها سدیم، بور و پتاسیم وجود دارد. حضور این عناصر در آنالیز عنصری روغن توربین، نشان‌دهنده نفوذ ضدیخ از آب کولر روغن به روغن توربین است.

تکنیک‌های شناسایی ذرات موجود در روغن

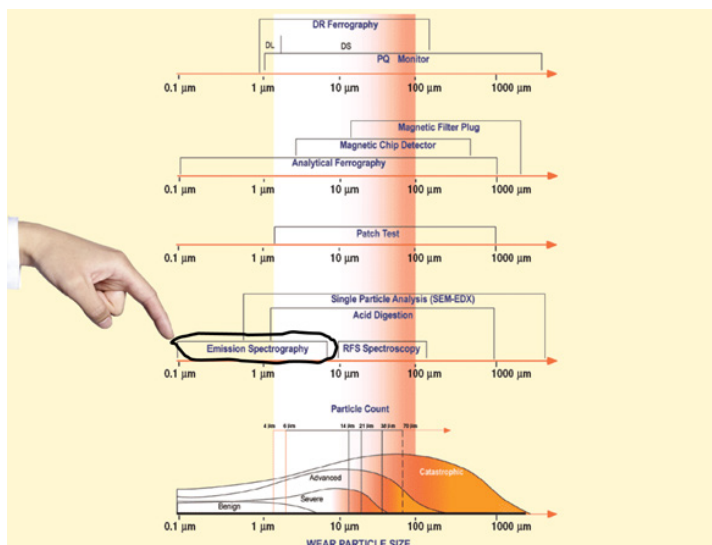
ذرات موجود در روغن به روش‌های متنوعی ارزیابی می‌شود. تکنیک‌های شناسایی ذرات موجود در روغن به سائز ذرات بستگی دارد. در ادامه مطالب این بخش، معروف‌ترین تکنیک‌های شناسایی و ارزیابی ذرات موجود در روغن را به صورت جداگانه شرح خواهیم داد.



تصویر (۹-۴) - معروف‌ترین تکنیک‌های شناسایی و ارزیابی ذرات موجود در روغن

آنالیز عنصری بر اساس طیف‌سنجی نشر اتمی

اولین آزمایش پرکاربرد، آنالیز عنصری بر اساس طیف‌سنجی نشر اتمی (Atomic Emission Spectroscopy) می‌باشد.



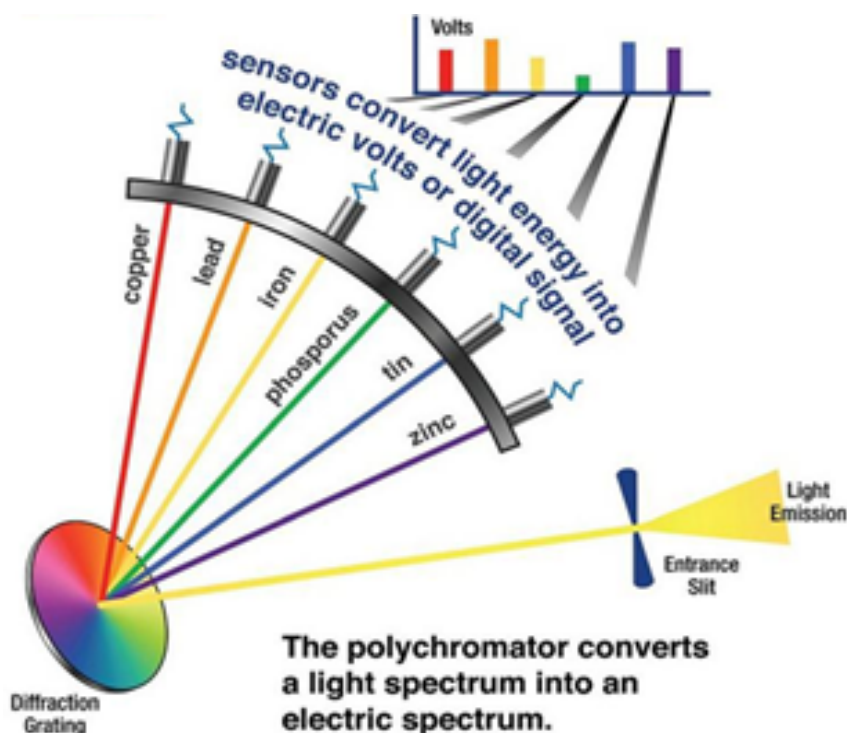
تصویر (۹-۵) - آنالیز عنصری بر اساس طیف‌سنجی نشر اتمی

در این روش با عبور نمونه روغن از پلاسما با دمای چهار هزار درجه سانتی گراد، انرژی زیادی به اتم‌های عناصر موجود در روغن وارد می‌شود. اتم‌های موجود در نمونه روغن، این انرژی را به صورت نور از خود دفع می‌کند. هر اتم شدت نوری مخصوص به خود دارد. نور ایجاد شده از احتراق کامل روغن (که به داخل پلاسما تزریق شده است)، به یک منشور هدایت می‌شود و به طول موج‌هایی با شدت مختلف تجزیه می‌گردد. این طول موج‌ها پس از آن که توسط یک صفحه دیافراگم جمع‌آوری گشت به وسیله یک لوله فوتو مولتی پالیر سنجیده می‌شود و به صورت بازخوانی دیجیتال در صفحه نمایش کامپیوتر نقش می‌بندد. هر عنصر و غلظت آن، طول موج و شدت منحصر به فرد خود را دارد. با دانستن میزان هر عنصر در نمونه روغن می‌توان الگوهای سایش قطعات خاص را در یک سیستم روانکاری بررسی نمود.

این آزمایش به دو روش انجام می‌شود:

۱- الکتروود دیسکی چرخان (Rotating Disc Electrode (RDE

۲- پلاسمای کوپل شده القایی (Inductively Coupled Plasma (ICP



تصویر (۶-۹) - آنالیز عنصری بر اساس طیف‌سنجی نشر اتمی به روش (ICP)

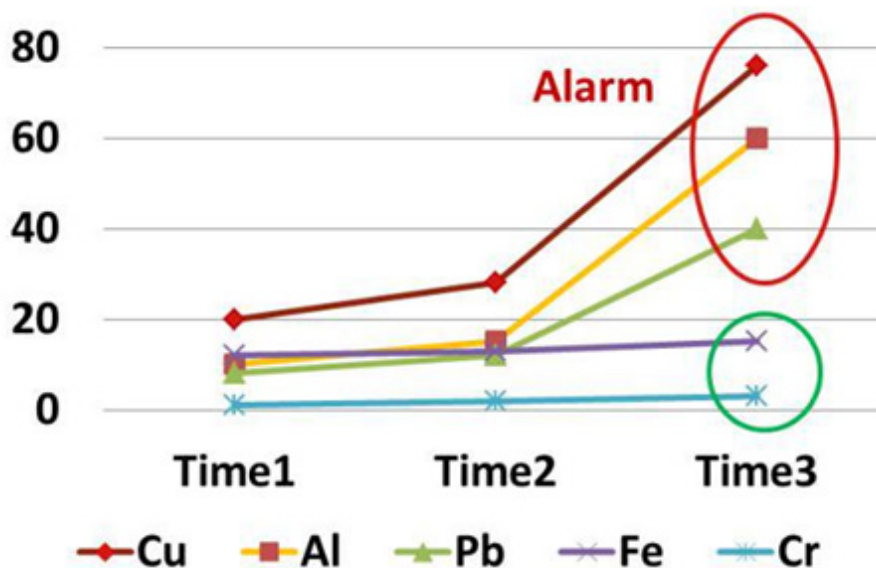
روش الکتروود دیسکی چرخان (RDE) قادر به تشخیص ذرات با اندازه‌ای بین یک تا هشت میکرون است و روش پلاسمای کوپل شده القایی (ICP) ذرات را در اندازه‌ای بین یک تا سه میکرون شناسایی می‌کند. هر دو روش مذکور برای سنجش ذرات درشت‌تر از این مقادیر، ناتوان هستند.

در مورد میزان ذرات موجود در روغن محدودیت قاطعانه‌ای وجود ندارد. پیشنهاد می‌کنم در همان اوایل راه‌اندازی توربین، نمونه روغن توربین را به آزمایشگاه مرجع بفرستید و جواب این آزمایش را به عنوان مبنای (Base Line) ارزیابی در آنالیزهای روغن بعدی قرار دهید؛ بدین ترتیب در آنالیزهای عنصری بعدی نرخ غیرمعمول و ناگهانی عناصر را - چه در جهت افزایش و چه در جهت کاهش - به عنوان نگرانی خود در نظر بگیرید.

نکته بسیار مهم در مورد آنالیز عنصری روغن این است که جواب این آزمایش معیاری از مصرف شدن ادتیوهای روغن نمی‌باشد. اگرچه ادتیوهای روغن به مرور زمان مصرف و یا نابود می‌شوند اما این نابودی به معنای حذف عناصر تشکیل‌دهنده ادتیو نمی‌باشد. به عبارتی منظور از مصرف شدن و نابود شدن ادتیوها، تغییر ترکیب شیمیایی آنها بوده ولی مقدار عناصر ادتیو ها ثابت می‌باشد. بنابراین مقدار این عناصر در تمام آزمایش‌های آنالیز عنصری ثابت است و ثابت بودن آنها به معنای کارآمد بودن ادتیو نمی‌باشد. لذا آنالیز عنصری فقط در تحلیل میزان فلزات سایشی و آلودگی‌های روغن موثر است.

پیشنهاد می‌شود آنالیز عنصری بر اساس طیف‌سنجی نشر اتمی، با روش‌های دیگری که در خصوص اندازه‌گیری ذرات درشت‌تر توانمند هستند، ترکیب شود.

در شرایط طبیعی، سایش به آهستگی صورت می‌گیرد و مقادیر عناصر سایشی در روغن به تدریج و به صورت پیوسته، زیاد می‌شود. نمونه‌گیری‌های منظم و متوالی و ارزیابی مقادیر عناصر فرسایشی این نمونه‌ها، تغییرات غیرمتعادل را مشخص خواهد کرد.



تصویر (۷-۹) - ارزیابی مقادیر عناصر فرسایشی

در صورتی که مقدار فلزات فرسایشی و آلودگی‌های روغن، در آخرین آزمایش روغن، بیشتر از میانگین شش نتیجه قبلی شود، دستگاه در موقعیت سطح هشدار قرار می‌گیرد. از طرفی مشاهده تغییرات ۲۵٪ در مقدار فلزات فرسایشی و آلودگی‌های روغن توربین، نسبت به روغن توربین نو، باید شروع نگرانی در مورد روغن باشد.

اجازه دهید این مطلب را با یک مثال واقعی بیان کنم؛ بعد از هر پرواز هواپیمای F-15 از روغن توربین گازی استفاده شده در موتور هواپیما نمونه‌گیری به عمل می‌آید و آنالیز انجام می‌شود. در یکی از آنالیزهای روغن، به کمک آنالیز عنصری به روش طیف‌سنجی نشر اتمی، خرابی برینگ توربین جت هواپیما تشخیص داده شد. همان‌طور که در تصویر (۸-۹) مشاهده می‌کنید، تغییرات عنصر آهن پس از ۴۲۸ ساعت پرواز، نرخ افزایشی داشته است. بررسی‌های تکمیلی هواپیما به تشخیص خرابی برینگ موتور، منجر شد.

Wear Metal Trends on F-15 F100-100 Engine

Hours	Reason	Fe	Ag	Al	Cr	Ni	Ti	Action
424	R	4	0	0	0	1	1	A
426	R	4	0	2	1	1	1	A
427	R	4	0	2	1	1	1	A
428	R	4	0	2	1	1	1	A
430	R	11	0	2	1	1	1	B
430	R	12	0	2	1	1	1	G
430	L	12	0	2	1	1	1	T

Failure detected based on
increase in
iron wear metal concentration

No. 4 Bearing
Missing Parts

تصویر (۸-۹) - تشخیص خرابی یاتاقان توربین جت هواپیما به کمک آنالیز عنصری روغن

در ساخت یاتاقان‌های ژورنال صنایع نیروگاهی از بابیت استفاده می‌شود. برای شما خواننده محترم این مقاله، ترکیب شیمیایی بابیت یاتاقان توربین بخار MST 50C را که از محصولات گروه مپنا است و در نیروگاه سیکل ترکیبی استفاده می‌شود، انتخاب کرده‌ام. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، سهم فلز قلع (Sn) در بابیت یاتاقان ۸۱٪ است. این بابیت‌ها، بابیت پایه قلع نامیده می‌شود؛ بنابراین هرگونه افزایش ناگهانی فلز قلع در آنالیز عنصری روغن توربین می‌تواند به علت سایش بابیت یاتاقان باشد. لازم به ذکر است که آلیاژهای بابیت پایه سرب شامل ۷۵٪ تا ۸۰٪ سرب (Pb) ۵٪ تا ۱۰٪ قلع و ۱۵٪ آنتیموان (Sb) می‌باشد.

White metall Babbitt

		Tego Star (Sartorius)	
Silver	Ag	0,1	mass-%
Copper	Cu	5	mass-%
Antimony	Antimon Sb	12	mass-%
Tin	Zinn Sn	81	mass-%
Zinc	Zink Zn	0,6	mass-%
Density	Dichte	7,35	g/cm3
Melting point	Schmelzpunkt,u.	235	°C
Brinell hardness	Brinell Härte	6	(bei 100°C)

Siemens: SnSb12Cu6Cd

تصویر (۹-۹) - ترکیب شیمیایی بابیت یاتاقان توربین بخار MST 50C مپنا