



DIAGNÓSTICO HOLÍSTICO

por John S. Evans, B.Sc.



John Evans, gerente de diagnóstico da WearCheck

Quem ler este boletim técnico estará familiarizado com a técnica de análise de óleo para a monitorização do estado de máquinas. Uma pequena amostra do óleo é colhida de uma peça de maquinaria lubrificada, sendo analisada a presença de detritos de desgaste e contaminantes e avaliada a saúde do próprio óleo.

Até aqui tudo bem, o óleo (ou massa lubrificante) pode ser sujeito a uma gama completa de testes físicos e químicos que, por sua vez, podem fornecer mais de 50 parâmetros diferentes (no caso de uma análise global) que necessitam ser avaliados para determinar a saúde da máquina, a saúde do óleo e os níveis de contaminação.

Como é que esta avaliação é realizada? A pergunta geralmente feita pelos utilizadores de análise de óleo é "Posso ter uma cópia dos limites usados? O uso de tabelas limite é altamente simplista e

em alguns casos pode ser muito enganoso. Em essência, o utilizador pretende ser capaz de fazer o trabalho de um diagnosticador de análise de óleo ao olhar para algumas folhas de papel - é um pouco mais complicado do que isso. O departamento de diagnósticos da WearCheck tem oito diagnosticadores com uma experiência combinada de mais de 150 anos e mais de 7,5 milhões de amostras, cinco dos membros da equipa diagnosticaram cada um mais de um milhão de amostras. Isso é uma enorme quantidade de experiência que não pode ser condensada num par de gráficos e tabelas.

Existem muitas razões pelas quais os limites de desgaste podem ser perigosos (apesar de serem úteis em algumas situações), mas este boletim técnico irá incidir sobre o conceito de diagnóstico holístico. O problema com os limites é que observam as leituras de laboratório isoladamente: 0 – 50 está bem, 50 – 100 existe um problema e mais de 100 é crítico. Na sua forma mais simplista isso está correto, mas frequentemente os caso de 50-100 somente significam um problema dependendo das outras leituras. 75 pode ser crítico numa situação e perfeitamente normal noutra.

FONTES DE SILÍCIO

O silício é um bom exemplo da como é vital olhar para a imagem completa. Para a maioria das pessoas familiarizadas com a análise de óleo, o silício é utilizado como uma indicação de entrada de sujidade. Sujidade, poeira, areia, brita, seja qual for o nome, é principalmente composta por uma substância química denominada dióxido de silício, sendo o silício facilmente detetado por um instrumento de laboratório denominado espectrómetro. Aqui é importante notar que o instrumento deteta o elemento químico silício, não o composto dióxido de silício. Infelizmente, nada nunca é simples, e o silício encontrado no óleo pode ter muitas outras origens.



Então, como é que determinamos se a presença de silício é devida à entrada de sujidade ou tem outra origem? Simples, deve olhar para as outras leituras, para determinar a origem do silício, em outras palavras, deve realizar um diagnóstico holístico. A tabela abaixo descreve uma série de cenários altamente plausíveis:

Exemplo	Ferro	Alumínio	Crómio	Estanho	Cobre	Sódio	Silício	Explicação
1	36	9	4	1	13	10	15	Amostra normal
2	97	29	13	2	14	9	61	Entrada grave de sujidade na extremidade superior
3	43	12	4	3	136	211	99	Fuga do líquido de arrefecimento interno
4	35	10	3	1	14	12	127	Vedação de silicone
5	35	8	2	2	16	11	45	Nível elevado de aditivo
6	123	150	32	2	19	9	133	Queima de pistão
7	95	15	15	29	10	10	59	Entrada de sujidade motor Detroit
8	100	32	75	4	15	11	25	Sujidade numa mina de crómio

A sujidade é altamente abrasiva e quando entra em contato com óleo, forma uma espécie de pasta abrasiva que provoca o desgaste acelerado do componente lubrificado. Tomemos como exemplo um motor a diesel. Se poeira fina ultrapassar o filtro de ar e entrar na área do cilindro superior, causaria desgaste imediato aos pistões, anéis e forros. Na maioria dos casos, os pistões são feitos de alumínio, os anéis de cromo e os forros de ferro – é expectável não só um aumento do silício, mas também do ferro, cromo e alumínio, sendo isso exatamente o que acontece, produzindo um perfil de desgaste muito comum.

No próximo cenário o nível do silício sobe, o ferro, alumínio e crómio mantêm-se, mas o cobre e sódio aumentam muito – o que está a acontecer aqui? Este é um exemplo de uma fuga de líquido de arrefecimento interno; quando tal ocorre, existe uma fuga de água do sistema de arrefecimento para o óleo do motor, por exemplo através de um forro corroído, mas a água evapora às temperaturas e pressões de funcionamento. No entanto, os produtos químicos condicionadores do líquido de arrefecimento permanecem no óleo. Um dos produtos químicos normalmente encontrados em líquidos de arrefecimento é o metassilicato de sódio, um composto que contém silício e sódio, que agora aparecem no óleo. O nível elevado de cobre ocorre pela normal lixiviação do sistema de arrefecimento.

O exemplo seguinte mostra níveis elevados de silício sem nenhum aumento de qualquer outra leitura. Neste caso, a origem do silício é uma junta de vedação ou composto de vedação baseado em silicone. Se foi recentemente executada uma reparação e foi utilizado um destes compostos então é possível que lixiviem para o óleo. O silício aumenta bastante, mas como esta forma de silício não é abrasiva, não se nota nenhum aumento no desgaste. Pode resultar confuso nesta situação o fato do motor ser novo, os resultados podem estar elevados devido à acomodação ao leito e porque pode ter sido usada na montagem uma massa lubrificante de silicone. Como determina o que ocorre neste caso? Existe um outro aspeto do diagnóstico holístico que deve ser tomado em consideração. Se

o camião tiver apenas 15 000 km, então é altamente provável uma situação de acomodação ao leito, no entanto, se o camião tiver mais de um milhão de Km, então será provavelmente desgaste anormal causado pela entrada de sujidade. Deve ser tomada em consideração toda a informação fornecida com a amostra.

Em seguida, podemos observar uma situação muito semelhante, mas aqui o silício aumentou apenas ligeiramente, até ao ponto em que nível do silício está elevado mas não é crítico, e mais uma vez as leituras de desgaste são todas normais. Todos os óleos de motor

contêm um aditivo conhecido como poli-metil-siloxano (sim, outra fonte de silício). Este aditivo para a formação de espuma no óleo, ocasionalmente as empresas petrolíferas erram nas suas misturas e colocam uma dose superior ou inferior de um determinado aditivo. Esta situação aconteceu duas vezes nos últimos dez anos. Normalmente, o nível de silício no óleo novo está entre 5 e 10 ppm, mas já foi analisado óleo novo com níveis de silício de 60 ppm. Isto ocasiona um efeito interessante na contagem de partículas que aumenta muito, mas quando o óleo é filtrado e examinado sob um microscópio, não é possível detetar contaminantes; mais um exemplo de diagnóstico holístico.

O dióxido de silício não é o único constituinte da sujidade - sendo geralmente acompanhado por óxido de alumínio, por isso, quando realmente ocorre entrada de sujidade é expectável que o alumínio aumente numa proporção fixa em relação ao silício. Isto de fato acontece em motores, transmissões e sistemas hidráulicos onde o rácio Si: Al é de cerca de 2:1, em componentes de transmissão tende a ser um pouco maior, possivelmente tão elevado como 10:1. No nosso próximo exemplo, observamos um aumento nos já mencionados ferro, crómio, alumínio e silício, mas neste caso as leituras de silício e alumínio são quase as mesmas - algo não bate certo. Este é um exemplo muito raro, pois corresponde a uma falha

de morte súbita que raramente é capturada na análise de óleo. Este é um caso de queima do pistão onde geralmente a sujidade não está envolvida.

Um bico de pulverização defeituoso num injetor de combustível pode espalhar combustível na coroa do pistão e fazer com que arda, obviamente, isso irá significar um aumento de ferro, crómio e alumínio, mas de onde é que vem o silício? Os pistões de alumínio são frequentemente fabricados em ligas que contêm carboneto de silício, o que reduz o coeficiente de expansão sendo esta a origem do silício quando ocorre a queima.

Mas espere, existe mais! O que é que acontece na situação oposta, onde existe entrada de sujidade, mas o rácio de alumínio para silício está próximo de 1:10? Existe outro aspeto do diagnóstico holístico que necessita ser considerado aqui - a informação fornecida pelo cliente. Os motores de dois tempos Detroit diesel têm um revestimento de estanho nos seus pistões, sendo que aqui seria observado um aumento em ferro e crómio e, obviamente, em silício, mas, com o revestimento em estanho (um condutor eficiente de calor) o alumínio não aumenta muito. O que se nota é um aumento do estanho, um elemento normalmente associado com ligas de rolamentos, mas, neste caso, a sua origem é o pistão.

Antes de deixarmos o silício, existe um último aspeto que necessitamos considerar. A sujidade é um contaminante ambiental e na maioria dos casos é uma mistura de silício e óxido de alumínio, mas o que acontece quando estes compostos não estão presentes no ambiente? O último exemplo de silício mostra um aumento em alumínio e ferro, um aumento maciço e desproporcionado em crómio e praticamente nenhum aumento em silício. A entrada de sujidade numa mina de crómio seria algo semelhante.

COBRE CONFUSO E MOBLIDÉNIO TRAPALHÃO

O silício não é o único elemento que pode ter mais de uma fonte. Tal como o silício, o cobre pode ser um contaminante, metal de desgaste e, em ocasiões muito raras, um aditivo. O cobre é um metal encontrado em ligas de latão e bronze e que compõe buchas e arruelas de batente em vários componentes. Numa situação de desgaste é exetável o aumento de metais associados, tais como estanho e chumbo, e talvez o zinco e o ferro. Enquanto contaminante, muitas vezes ocorre lixiviação de cobre do sistema de arrefecimento. Se lixiviação ocorrer no lado do óleo, serão notados níveis extremamente elevados de cobre, no entanto as outras leituras permaneceriam iguais. Se o cobre surgir através da água do sistema de arrefecimento, então, irá provavelmente notar aditivos de arrefecimento, tais como sódio, silício, boro ou molibdénio.

Isto leva-nos ao molibdénio, um outro metal que pode ser um contaminante que surge do sistema de arrefecimento e massa lubrificante, um aditivo de óleo enquanto anti-oxidante ou aditivo sólido, e um metal de desgaste encontrado como revestimento nos anéis de pistão ou em sincronizadores de caixas de velocidades. De fato, a maioria dos elementos detetados pelo espectrómetro pode pertencer a mais do que um dos três grupos principais (aditivo, contaminante, metal de desgaste) e muitas vezes a todos os três. Mais complicada é a identificação de um elemento que

pertence a mais de um grupo simultaneamente. É por isso que não basta uma simples tabela de limites de desgaste. Exige um enorme conhecimento e anos de experiência para se tornar um diagnosticador habilidoso e preciso. Estes poucos exemplos que observamos são apenas três dos mais de 30 elementos que podem ser analisados - seria necessário um livro grande para cobrir todos os aspectos e anos de experiência necessários para a sua execução.

TENDÊNCIAS E RÁCIOS

Vamos afastar-nos da interação dos elementos e considerar rácios e informações fornecidos pelo cliente. No normal decorrer dos acontecimentos, é provavelmente aceitável 20 ppm de chumbo (um revestimento encontrado em rolamentos e capas de rolamentos) num motor. O ferro pode, por vezes, ser utilizado como uma referência interna pois, em qualquer sistema mecânico, é o principal elemento de desgaste. Pode ser usado como valor de referência para comparação com outras leituras. Pode ser aceitável 20 ppm de chumbo num motor, mas, se a leitura de ferro for de apenas 25 ppm, então algo não está bem pois existe muito mais ferro que



Ao analisar amostras de óleo, o espectrómetro ICP (plasma de acoplamento induzido) fornece dados, como os níveis de contaminação e desgaste, que podem ser usados como parte de um diagnóstico holístico da amostra

chumbo num motor. Neste caso, não é a concentração real que é preocupante, mas o rácio entre os dois elementos em questão. Já encontramos a importância de rácios quando falamos sobre alumínio e silício, para poder avaliar a possibilidade de entrada de sujidade.

As tendências são outro aspeto que necessita ser considerado; uma tendência de 50 ppm de ferro pode ser normal, mas se aumentar para 85 ppm, pode indicar um problema. Da mesma forma, uma tendência de 30 ppm também pode ser normal, mas um aumento para 50 ppm poderia indicar algo está errado. Numa situação 50 é aceitável, em outra não é, sendo apenas possível avaliar o estado do componente através da análise da sua história.

Finalmente, a informação fornecida pelo cliente é absolutamente crítica - coisas como a aplicação, meio ambiente, tipos de óleo e combustível, idade da máquina e consumo de óleo podem ter um enorme impacto sobre a forma de avaliação de um relatório de amostra de óleo.

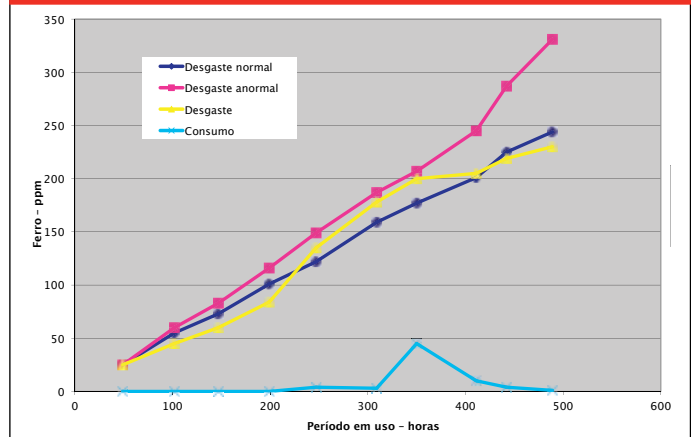
Quanta mais informação o diagnosticador possuir, melhor será o diagnóstico. Deve notar-se que a causa primária de falha de um programa de análise de óleo se deve à informação errada ou incompleta que acompanha a amostra de óleo.

Talvez a informação mais vital fornecida pelo do cliente seja o tempo de uso do óleo. 50 ppm de ferro pode estar correto para 250 horas de operação, mas é crítico após apenas 50 horas e suspeitosamente baixo para 500 horas. Se o óleo foi usado durante o dobro do tempo, é de esperar que haja duas vezes mais desgaste e contaminação. Um valor elevado em situações onde o óleo esteve em uso por um longo período deve ser julgado como 'normal para o período de uso do óleo'. No caso de uma leitura suspeitosamente baixa do teor de ferro, talvez o consumo de óleo seja elevado.

O gráfico final mostra como a falta de informação pode levar diretamente a um diagnóstico incorreto. O consumo de óleo (algo que apenas algumas pessoas medem) foi mencionado acima. Se o consumo de óleo for inaceitavelmente elevado, em primeiro lugar, indica que algo está errado, e em segundo lugar, a adição de grandes quantidades de óleo fresco irá diluir os níveis de contaminação e desgaste - ou seja irá estar a analisar óleo fresco.

A primeira linha mostra o ferro a aumentar regularmente ao longo de um período de tempo com as amostras de óleo a serem tomadas a intervalos regulares - este pode ser considerado o desgaste normal. A segunda linha mostra uma taxa de desgaste crescente com leituras de ferro mais elevadas indicando que se pode estar a desenvolver uma situação de desgaste anormal. A linha final mostra a segunda situação acompanhada de consumo elevado de óleo de tal forma que o ponto final é indistinguível da situação de desgaste normal. O elevado consumo de óleo mascarou (diluiu) o desgaste anormal que ocorreu.

O efeito do consumo de óleo em leituras de desgaste



CADA IMAGEM CONTA UMA HISTÓRIA

O diagnóstico de amostras de óleo é muito mais do que seguir algumas simples regras e limites. Tem a informação fornecida pelo laboratório (os testes) e a informação fornecida pelo cliente (formulário de entrega) sendo necessário juntar cuidadosamente os dois para obter uma imagem clara do que está a acontecer. Após avaliar essa união, tomando em consideração todas as informações que o cliente forneceu, todos os testes de laboratório, toda a história do componente juntamente com o conhecimento de como componentes semelhante se comportam em situações semelhantes, só então pode formular uma história. O diagnóstico, é em essência, química forense, tentar averiguar o que aconteceu a partir de algumas pistas. Estas pistas simples podem ser usadas para ilustrar quadros incrivelmente complexos e detalhados, mas tal só pode ser realizado quando os dados disponíveis são considerado globalmente. Somente uma avaliação holística dos dados irá fornecer a resposta correta, olhar para as leituras isoladamente só fornece uma imagem pouco nítida em preto e branco, não sendo muitas vezes possível ver as múltiplas cores que podem ser observadas com uma perspetiva holística.

Pode aceder a Boletins Técnicos anteriores no web site da WearCheck: www.wearcheck.co.za

JUNTOS PARA APOIAR O PLANETA ♻️

Se preferir receber as edições futuras dos Boletins Técnicos e Monitor da WearCheck por email em formato PDF vez de impressos, por favor envie um email para: support@wearcheck.co.za. Esta opção também se aplica aos relatórios impressos.

Escritório Central de KwaZulu-Natal

9 Le Mans Place,
Westmead, KZN, 3610
PO Box 15108,
Westmead, KZN, 3608
t +27 (0) 31 700 5460
f +27 (0) 31 700 5471
e support@wearcheck.co.za
w www.wearcheck.co.za



Especialista na monitorização do estado de máquinas

Filiais

Joanesburgo	+27 (0) 11 392 6322
Cidade do Cabo	+27 (0) 21 981 8810
Porto Elizabeth	+27 (0) 41 360 1535
East London	+27 (0) 82 290 6684
Rustenburg	+27 (0) 14 597 5706
Middelburg	+27 (0) 13 246 2966
Zâmbia: Lumwana	+260 (0) 977 622287
Zâmbia: Kitwe	+260 (0) 212 210161
EAU	+971 (0) 55 221 6671
Índia	+91 (0) 44 4557 5039



Honeywell



SABS
ISO 9001

SABS
ISO 14001



Diferentes publicações podem reproduzir artigos ou extratos dos mesmos, desde que reconheçam a autoria da WearCheck Africa, parte da Torre Industries.