



CATÁLOGO TÉCNICO DE APLICAÇÕES

A ciência por trás de cada peça metálica

Soluções analíticas para caracterização,
controle de processo e confiabilidade na
indústria metal mecânica



Apresentação

Este catálogo foi desenvolvido pela Tennessine Instrumentação Analítica como material de referência técnica para engenheiros, metalurgistas, analistas de laboratório, gestores de qualidade e equipes de pesquisa e desenvolvimento que atuam na indústria metal mecânica. Seu objetivo é apresentar, de forma organizada, os principais desafios analíticos do setor e as técnicas instrumentais mais adequadas para respondê-los, da identificação de ligas ao suporte à análise de falhas.

O conteúdo está estruturado por desafio industrial, por etapa de processo e por técnica analítica, permitindo que o leitor navegue pelo material a partir do problema que precisa resolver ou da tecnologia que deseja compreender melhor. Ao final, uma matriz técnica relaciona de forma objetiva desafios, técnicas, tipos de informação obtida e produtos do portfólio Tennessine associados a cada aplicação.

Estrutura, composição e desempenho

A ciência antes da performance

A indústria metal mecânica reúne um conjunto amplo de operações, entre elas siderurgia, fundição, forjaria, laminação, trefilaria, usinagem, soldagem e montagem, que transformam matérias-primas metálicas em componentes estruturais, peças automotivas, componentes aeroespaciais e equipamentos industriais.

Em todas essas etapas, o desempenho final da peça depende diretamente de variáveis que não são visíveis a olho nu: **composição química exata da liga, fases cristalinas presentes, nível de tensão residual acumulado, dureza superficial e comportamento sob atrito, calor e carga cíclica.**

Diferente de setores em que uma variação sutil de formulação afeta apenas a estética ou a performance de um produto de consumo, **na metal mecânica essas variáveis estão associadas diretamente à segurança estrutural, à vida útil de componentes críticos e à rastreabilidade de lotes de material.**

Uma liga fora de especificação, uma têmpera incompleta ou uma solda com descontinuidades internas podem comprometer a integridade de um eixo automotivo, de uma estrutura aeronáutica ou de um vaso de pressão industrial.

A caracterização analítica, portanto, deixou de atuar apenas no controle de qualidade final e passou a acompanhar todo o processo produtivo, desde o recebimento da matéria-prima até a investigação de falhas. Nesse fluxo, as técnicas se complementam: OES, LIBS e XRF determinam a composição química; XRD identifica fases cristalinas e tensões residuais; ensaios de dureza avaliam a resistência à deformação; microscopia eletrônica revela microestrutura e morfologia de fratura; e tribologia mede o comportamento das superfícies sob atrito, desgaste e lubrificação. Em conjunto, essas informações conectam matéria-prima, processo, estrutura e desempenho do componente.



O que não se vê também importa: os desafios analíticos do setor

Ao longo do ciclo de vida de um componente metálico, uma série de perguntas técnicas precisa ser respondida com precisão. A seguir, os principais desafios analíticos enfrentados por siderúrgicas, fundições, montadoras, autopeças e indústrias aeroespaciais.

IDENTIFICAÇÃO DE LIGAS

Confirmar, por meio de XRF ou LIBS portátil em campo e OES por centelhamento para confirmação quantitativa em laboratório, se matérias-primas, sucatas ou componentes correspondem à liga especificada, evitando contaminações cruzadas e materiais fora de norma.

CONTROLE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Quantificar os elementos de liga e traços residuais que determinam propriedades mecânicas, resistência à corrosão e soldabilidade, utilizando OES por centelhamento, LIBS, XRF portátil, EDXRF ou WDXRF conforme o elemento analisado, a precisão requerida e o formato da amostra.

ANÁLISE DE FASES CRISTALINAS

Identificar, por difração de raios X (XRD), fases como martensita, austenita retida, carbonetos e precipitados, relacionando-as ao processamento térmico. A análise térmica pode complementar o estudo das transformações em função da temperatura.

AValiação de Tratamentos Térmicos

Verificar se processos como têmpera, revenimento, cementação ou nitretação atingiram a profundidade e a dureza especificadas, combinando ensaios de dureza e microdureza, XRD para austenita retida e tensão residual e análise térmica para investigar transformações e estabilidade.

CONTROLE DE DUREZA E MICRODUREZA

Medir a resistência à deformação em componentes, camadas tratadas ou constituintes microestruturais, utilizando Rockwell e Brinell no controle de rotina e Vickers ou Knoop em perfis de camada e regiões específicas.

MEDIDÃO DE TENSÃO RESIDUAL

Quantificar, de forma não destrutiva, as tensões internas geradas por usinagem, soldagem, conformação ou tratamento térmico por meio de XRD de bancada ou portátil, contribuindo para a prevenção de falhas por fadiga.

ANÁLISE DE FALHAS

Investigar as causas de rupturas, trincas ou desgaste prematuro pela análise integrada de composição, microestrutura, dureza e morfologia da fratura, com técnicas como OES, XRF, XRD, dureza e microdureza, MEV/EDS, tomografia computadorizada e tribologia. XPS ou SIMS podem complementar a avaliação de interfaces e traços superficiais.

INSPEÇÃO DE REVESTIMENTOS

Avaliar espessura, aderência, composição e integridade de revestimentos por EDXRF, MEV/EDS, XPS e SIMS, complementando a caracterização com ensaios de tribologia e eletroquímica para verificar o desempenho contra desgaste e corrosão.

CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES

Descrever a rugosidade, a textura e a geometria de superfícies usinadas ou tratadas por perfilometria óptica 3D, enquanto o MEV permite inspecionar sua morfologia em alta resolução. Esses parâmetros influenciam o atrito, a vedação e a fadiga superficial.

ESTUDOS DE DESGASTE, ATRITO E CORROSÃO

Avaliar o comportamento de materiais sob carga, movimento oscilatório, lubrificação e exposição ambiental, utilizando tribologia para medir atrito, desgaste e fretting, perfilometria óptica 3D para quantificar as trilhas de desgaste e eletroquímica para investigar corrosão e proteção superficial.

Da matéria-prima à peça crítica uma jornada analítica

Os desafios analíticos descritos na seção anterior se manifestam de formas específicas em cada etapa da cadeia produtiva. A organização a seguir acompanha o fluxo típico de um componente metálico, do recebimento da matéria-prima ao suporte à engenharia após a entrada em operação.



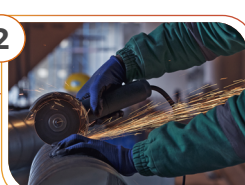
1

RECEBIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA

No recebimento, o XRF portátil identifica e quantifica rapidamente os elementos presentes na liga por fluorescência de raios X, sem danificar a peça, sendo indicado para triagem de sucata e verificação de materiais.

O LIBS, por sua vez, analisa a emissão de um plasma gerado por laser e amplia a avaliação para elementos leves, com destaque para o carbono e o cálculo da equivalência de carbono em aços.

Em conjunto, as duas técnicas confirmam a identidade do material antes de sua entrada no processo e reduzem o risco de contaminação do banho de fusão.



2

PRODUÇÃO E FUNDIÇÃO

Controle de composição do banho metálico por espectrometria de emissão óptica, garantindo que a liga vazada atenda à especificação antes da solidificação, e acompanhamento de inclusões não metálicas que afetam a limpeza do aço.



3

TRATAMENTOS TÉRMICOS E TERMOQUÍMICOS

Ensaio de dureza e microdureza verificam a resistência superficial, de núcleo e o perfil de camadas após têmpera, revenimento, cementação ou nitretação. A XRD mede tensão residual e austenita retida, enquanto a análise térmica acompanha transformações de fase e estabilidade em função da temperatura. Juntas, essas informações indicam se o ciclo térmico atingiu os resultados previstos.



4

USINAGEM E CONFORMAÇÃO

A XRD avalia, de forma não destrutiva, as tensões residuais induzidas por corte, retífica ou conformação a frio. Para a superfície, um perfilômetro óptico 3D mede rugosidade, textura, topografia e volume de material, permitindo verificar a integridade de componentes usinados de precisão, como eixos, engrenagens e peças aeroespaciais.



5

SOLDAGEM

Na soldagem, dureza e microdureza avaliam a zona termicamente afetada e o perfil da junta; OES, XRF ou LIBS verificam a composição do metal de base e do metal de solda; XRD mede tensões residuais e fases resultantes do ciclo térmico; e a tomografia computadorizada identifica porosidade, falta de fusão e trincas internas sem cortar a peça.



6

REVESTIMENTOS E ENGENHARIA DE SUPERFÍCIE

O EDXRF de bancada determina, de forma não destrutiva, a composição e a espessura de camadas e revestimentos. MEV/EDS avalia microestrutura, defeitos e composição localizada; XPS e SIMS investigam química superficial, estados de oxidação, interfaces e elementos traço; e perfilometria óptica 3D, tribologia e eletroquímica verificam topografia, aderência, desgaste e resistência à corrosão.



8

ANÁLISE DE FALHAS E SUPORTE À ENGENHARIA

Investigação de componentes que falharam em campo ou em ensaio, combinando composição química, microestrutura, dureza, tribologia e tomografia computadorizada para reconstruir a causa raiz e orientar ações corretivas de projeto ou processo.



7

CONTROLE DE QUALIDADE FINAL

Antes da liberação do lote, ensaios de dureza confirmam a resistência especificada, enquanto o EDXRF de bancada verifica a composição química e a espessura de revestimentos sem danificar a peça, fornecendo dados para Certificados de Análise (CoA), Data Books e certificados de qualidade do produto final. A tomografia computadorizada e a perfilometria complementam a inspeção de defeitos internos e a conformidade dimensional ou superficial.

Decifrando o Metal: as técnicas que revelam o invisível

Cada técnica analítica revela uma dimensão diferente do comportamento de um material metálico: composição, estrutura cristalina, dureza, morfologia ou comportamento tribológico. A seguir, uma descrição objetiva de cada técnica, das informações que fornece, das etapas em que é mais utilizada e dos produtos do portfólio Tennessine associados.

Composição em tempo real: a química do metal em fusão

A espectrometria de emissão óptica por centelha excita atômica a superfície de uma amostra metálica sólida por meio de uma descarga elétrica controlada, gerando um espectro de emissão cuja intensidade em cada comprimento de onda é proporcional à concentração do elemento correspondente. É a técnica de referência para análise elementar quantitativa de metais e ligas em ambiente de produção.

Fornece a composição química completa de ligas ferrosas e não ferrosas, incluindo elementos de liga e traços residuais, com tempo de resposta compatível com o controle de banho de fusão em tempo real.

É amplamente empregada na siderurgia, especialmente nas aciarias, e também na indústria de

fundição, para o controle da composição química do metal líquido antes do vazamento e para a verificação da conformidade das matérias-primas com os certificados de qualidade dos fornecedores.

A linha reúne duas arquiteturas ópticas adequadas a diferentes rotinas: o ARL iSpark Plus utiliza óptica baseada em tubos fotomultiplicadores (PMT) e gerador de faísca digital para análises de alta precisão; o ARL easySpark emprega sistema óptico multi-grating baseado em detectores CCD (Charge-Coupled Device), em formato compacto. Em configurações dedicadas, o ARL iSpark Plus também permite o monitoramento ultrarrápido de inclusões não metálicas, relevante para o controle de limpeza em aços.

PRODUTOS RELACIONADOS

- ARL iSpark PMT Metal Analyzer



- Software OXSAS



Identidade em segundos: Reconhecendo ligas em qualquer lugar

A fluorescência de raios X mede a radiação característica emitida por uma amostra ao ser irradiada por raios X, permitindo identificar e quantificar os elementos presentes sem necessidade de preparo destrutivo. Em formato portátil, a técnica leva a análise até o material, e não o contrário.

Fornece identificação e quantificação elementar de ligas metálicas em segundos, sendo amplamente utilizada para triagem de sucata, verificação de material de origem (PMI, Positive Material Identification) e controle em campo de tubulações e componentes já instalados.

É aplicada no recebimento de matéria-prima, na reciclagem de sucata ferrosa e não ferrosa, e em inspeções de campo em plantas industriais, onde a portabilidade evita a retirada de amostras para o laboratório.

O Niton XL2 Plus, cobre a faixa elementar de Mg a U com detector de deriva de silício (SDD) de alta sensibilidade para elementos leves, certificação IP54 contra poeira e respingos, câmera integrada e troca rápida de bateria. Vem com bibliotecas de ligas compatíveis com as normas ASTM, SAE, AISI e AA, o que facilita a identificação positiva de materiais direto no pátio de sucata ou no campo. Para aplicações que exigem maior sensibilidade, limites de detecção mais baixos e análises ainda mais rápidas, o Niton XL5 Plus complementa a linha.

PRODUTOS RELACIONADOS

- Analisador Elementar XRF Portátil Niton XL2 Plus



- Niton XL5 Plus



Carbono sob controle: Soldabilidade garantida em campo

PRODUTOS RELACIONADOS

- Analisador LIBS Portátil Niton Apollo



A técnica de LIBS utiliza um pulso laser de alta energia para vaporizar uma pequena porção da superfície da amostra, gerando um plasma cuja emissão óptica é analisada para determinar a composição elementar, incluindo elementos leves como o carbono, algo que a XRF portátil convencional não realiza com a mesma sensibilidade.

Fornece leitura rápida de composição elementar com destaque para a determinação de carbono, permitindo o cálculo da equivalência de carbono (CE), parâmetro crítico para avaliar a soldabilidade de aços.

É especialmente útil na inspeção de campo (PMI) de tubulações e vasos de pressão antes de processos de soldagem, e no controle de qualidade de aços onde o teor de carbono é determinante para o comportamento metalúrgico da junta soldada.

O Niton Apollo permite medição direta da equivalência de carbono em aços diretamente em campo, apoiando decisões de pré-aquecimento e escolha de consumíveis de solda antes da execução do serviço.

Certificação sem danos: o laudo final da peça acabada e do revestimento

A fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) mede a radiação característica emitida pela amostra e determina sua composição elementar sem exigir corte, dissolução ou outra preparação destrutiva. Em bancada, a técnica combina controle analítico de laboratório com a preservação integral da peça.

Fornece resultados para a liberação de lotes e a emissão de Certificados de Análise (CoA), Data Books e certificados de qualidade, além de medir simultaneamente a espessura e a composição de camadas e revestimentos metálicos.

É indicada para peças usinadas, componentes de precisão, itens acabados, pós, cavacos e fios, inclusive em geometrias irregulares, bem como para galvanização, zincagem, niquelação e sistemas multicamadas. Também apoia o atendimento a requisitos como RoHS e especificações automotivas e aeroespaciais, conforme o método e a calibração aplicáveis.

O ARL QUANT'X é um espectrômetro EDXRF de bancada com detector SDD e câmara de amostras capaz de receber peças maiores ou irregulares, permitindo quantificar elementos majoritários, minoritários e traço e analisar camadas sem comprometer o produto final.

PRODUTOS RELACIONADOS

- Espectrômetro EDXRF de Bancada ARL QUANT'X



Certificação sem danos: O laudo final da peça acabada e do revestimento (EDXRF BANCADA)

Conceito: Garanta a conformidade química e a qualidade do produto final sem comprometer a integridade da peça. O EDXRF de bancada é a solução não destrutiva ideal para a emissão de Certificados de Análise (CoA) e Data Books de peças usinadas, componentes de precisão e itens acabados.

APLICAÇÕES DE DESTAQUE

Garantia de Produto Final: Certificação química 100% não destrutiva — a peça entra para análise e retorna intacta ao lote.

Controle de Tratamentos Superficiais: Medição simultânea da espessura e composição de camadas e revestimentos (galvanização, zincagem, niquelação e depósitos metálicos).

Versatilidade de Formatos: Análise de amostras com geometrias complexas, pequenos componentes, pós, cavacos e fios, com pouco ou nenhum preparo de amostra, dependendo da matriz e da aplicação, sem necessidade de preparação destrutiva.

Aplicação específica: Quantificação elementar para liberação de lotes e atendimento a normas rigorosas (como RoHS e especificações automotivas/aeroespaciais) / Medição precisa de espessura de revestimentos multicamadas sobre qualquer substrato metálico.

O que a peça guarda por dentro: Tensão Residual e Fases Cristalinas

A difração de raios X explora a interação entre um feixe de raios X e os planos atômicos de um material cristalino. Os ângulos e intensidades de difração resultantes permitem identificar fases cristalinas presentes, quantificar austenita retida e medir tensões residuais acumuladas por usinagem, conformação, soldagem ou tratamento térmico, de forma não destrutiva.

A técnica fornece dados sobre estrutura cristalina, proporção entre fases (por exemplo, martensita e austenita retida em aços temperados) e o estado de tensão, trativo ou compressivo, na camada superficial do componente. Seguindo a metodologia consolidada pela norma ASTM E915 para medição de tensão residual por XRD/DRX.

É central em etapas de tratamento térmico, retificação, jateamento e shot peening, sendo aplicada tanto em laboratório quanto diretamente na linha de produção ou no campo, quando se utiliza equipamento portátil.

Para análise de fases e caracterização estrutural em laboratório, o AXRD Benchtop combina potência de 600 W, resolução FWHM inferior a $0,04^\circ 2\theta$ e detector híbrido de contagem de fótons, com o pacote de software XRDWIN PD e PDAnalysis cobrindo identificação de fases, refinamento de Rietveld, textura e tensão residual, sem custo adicional de licença.

Para estudos de transformação de fase sob temperatura controlada, de -190°C a 2000°C , o AXRD Theta-Theta oferece uma plataforma dedicada a experimentos não ambiente. E para medição de tensão residual e austenita retida diretamente em campo ou no chão de fábrica, sem desmontar a peça, o sistema iXRD, opera em conformidade com a norma ASTM E915 e conta com goniômetros intercambiáveis para diferentes geometrias de acesso, incluindo furos internos a partir de 60 mm de diâmetro.

PRODUTOS RELACIONADOS

- AXRD Benchtop



- AXRD Theta-Theta



- Sistema Portátil iXRD



- Tubos de Raios X XRT



Resistência posta à prova: Dureza que garante confiabilidade

Os ensaios de dureza medem a resistência de um material à deformação plástica localizada, aplicando uma carga padronizada sobre um penetrador de geometria definida e avaliando a marca resultante. Cada escala, Vickers, Knoop, Rockwell ou Brinell, é adequada a uma combinação diferente de material, espessura e finalidade do ensaio.

A técnica fornece um indicador direto e comparável de resistência mecânica superficial ou de núcleo, permitindo avaliar a efetividade de tratamentos térmicos, comparar lotes de material e detectar variações de processo que não seriam visíveis em inspeção dimensional.

A dureza convencional é usada em controle de qualidade final e em linha de produção; a microdureza permite avaliar camadas finas, como zonas cementadas, nitretadas ou revestidas, e constituintes

microestruturais individuais, sendo essencial na análise de soldas e tratamentos superficiais.

Para rotina de bancada em Rockwell, Rockwell Superficial e Brinell opcional, o durômetro Fenix 300RS, da Innovatest, combina aplicação de carga automática por célula de carga e ciclo fechado, tela touchscreen de 6,5 polegadas com software I-TOUCH e campo de trabalho de 240 x 150 mm, atendendo ou superando as exigências da ASTM e da ISO.

Para laboratórios que exigem maior versatilidade metrológica, o Nemesis 9100G2 amplia o alcance para Rockwell, Rockwell Superficial, Brinell, Vickers e Knoop em uma única plataforma, com faixa de força de 200 gf a 3.000 kgf, torre de nove posições, câmera de 18 megapixels com foco automático e software IMPRESSIONS, sendo indicado para tarefas de maior exigência e certificação Q-DAS.

PRODUTOS RELACIONADOS

- Durômetro Rockwell
Fenix 300RS



- Durômetro Universal
Nemesis 9100G2



Onde começa a falha: Microscopia que revela a origem

A microscopia eletrônica de varredura forma imagens de alta resolução a partir da interação de um feixe de elétrons com a superfície da amostra, permitindo observar microestruturas, inclusões, trincas e morfologia de fratura em escalas inacessíveis à microscopia óptica. Sistemas com feixe de íons focalizado (FIB) permitem ainda seccionar a amostra para revelar estruturas internas.

A MEV fornece imagens morfológicas detalhadas e, quando associada a microanálise por energia dispersiva (EDS), também composição química localizada, essencial para identificar inclusões não metálicas, precipitados e produtos de corrosão.

É a técnica de referência em análise de falhas, permitindo identificar o modo de fratura (dúctil, frágil, por fadiga) e correlacioná-lo com a microestrutura e a composição local do material.

Os sistemas Helios 5 DualBeam (MEV-FIB) e Prisma E SEM oferecem geração de imagens de alta resolução e análise versátil de materiais, adequados tanto à inspeção de superfícies quanto à investigação de estruturas internas de componentes metálicos.

PRODUTOS RELACIONADOS

- *Prisma E SEM*



- *Microscópio Eletrônico de Varredura Helios 5 DualBeam*



Enxergando através do metal: Tomografia sem cortar a peça

A tomografia computadorizada por raios X reconstrói, a partir de múltiplas projeções radiográficas, um modelo tridimensional interno da amostra, permitindo identificar porosidade, inclusões, trincas e descontinuidades sem necessidade de corte físico.

Fornece visualização volumétrica não destrutiva de defeitos internos, medições dimensionais e metro-lógicas precisas, e comparação entre o modelo de projeto (CAD) e a peça fabricada.

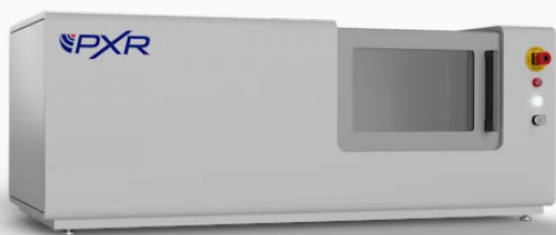
É aplicada na inspeção de peças fundidas e soldadas, na verificação de porosidade em componentes automotivos e aeroespaciais, e no suporte à prototipagem rápida e ao controle metrológico de peças pequenas e complexas.

O CT-Portable, da ProCon X-Ray, é hoje o sistema de tomografia industrial móvel mais compacto do mercado, com cerca de 25 kg, fonte de até 50 kV e 50 W e resolução espacial inferior a 25 µm, indicado para inspeção rápida de peças pequenas em campo, laboratório ou linha de produção.

Para inspeções de laboratório que exigem maior detalhamento, o CT-Micro opera com fonte de micro-foco de até 100 kV e resolução espacial inferior a 3 µm, adequado à investigação de porosidade fina, inclusões e microestrutura interna em componentes de maior porte.

PRODUTOS RELACIONADOS

- Micro CT de Laboratório CT-Micro

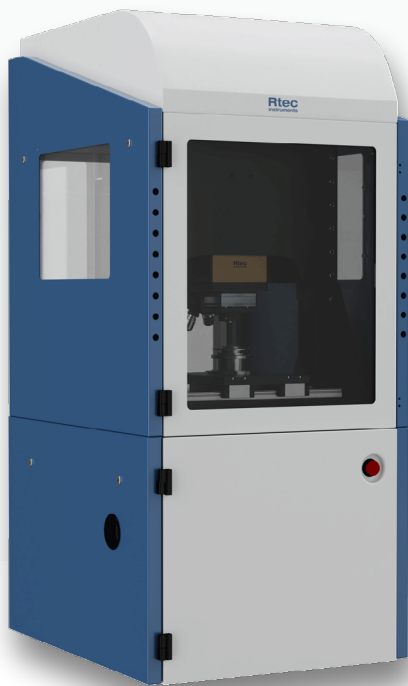


- Sistema de Tomografia Computadorizada CT-ALPHA



PRODUTOS RELACIONADOS

- Tribômetro Multifuncional MFT-5000



A tribologia estuda a interação entre superfícies em contato relativo (atrito, desgaste e lubrificação), reproduzindo em bancada as condições de operação real de um par de materiais, seja sob deslizamento contínuo, seja sob deslocamento oscilatório de pequena amplitude, o chamado fretting.

Fornecer coeficientes de atrito, taxas de desgaste, resistência a risco e adesão, além de dados de fadiga por fretting entre superfícies em contato vibracional, como as encontradas em conexões parafusadas, encaixes e componentes automotivos sujeitos à vibração.

É aplicada no desenvolvimento de revestimentos duros, na seleção de lubrificantes, na avaliação de pares metálicos sujeitos a desgaste em serviço e na investigação de falhas associadas a fretting fatigue, um mecanismo frequente em componentes aeroespaciais e automotivos submetidos a vibração prolongada.

O tribômetro multifuncional MFT-5000, da Rtec Instruments, reúne em uma única plataforma módulos intercambiáveis para ensaios rotativos, alternados, bloco sobre anel e fretting de bobina móvel, com curso de 5 μm a 4 mm em frequências de até 500 Hz. Sensores de carga capacitivos e piezoelétricos cobrem uma faixa que vai de nN a 12.000 N, e a câmara ambiental permite ensaios de -120 °C a 1200 °C. Um perfilômetro óptico 3D integrado registra a evolução da superfície ao longo do ensaio, permitindo quantificar rugosidade, volume de desgaste e propagação de trincas na mesma sessão de teste.

Quando o material se movimenta: comportamento viscoelástico em foco

A análise dinâmico-mecânica aplica uma força oscilatória a uma amostra sob um programa controlado de temperatura ou frequência, medindo a deformação resultante para calcular o módulo complexo do material, uma medida direta do seu comportamento viscoelástico.

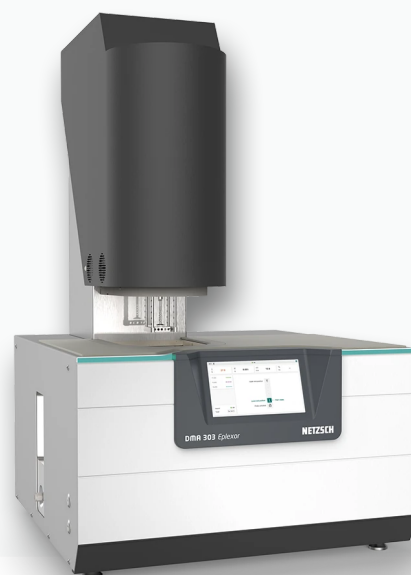
Fornecer dados sobre transições de fase, estabilidade térmica, comportamento de amortecimento e módulo de armazenamento e perda, parâmetros relevantes para adesivos estruturais, revestimentos poliméricos e compósitos utilizados em conjunto com componentes metálicos.

É aplicada na caracterização de adesivos usados em juntas metal-compósito, em revestimentos poliméricos aplicados sobre superfícies metálicas e no estudo do comportamento térmico de materiais de vedação e amortecimento utilizados em conjunto com estruturas metálicas.

O DMA 303 Eplexor, da NETZSCH, determina propriedades viscoelásticas em função de temperatura e frequência, sendo indicado para avaliar transições de fase e comportamento de amortecimento em materiais associados a componentes metálicos.

PRODUTOS RELACIONADOS

- Analisador Dinâmico Mecânico DMA 303 Eplexor



Corrosão sob investigação: Protegendo o metal ao longo do tempo

PRODUTOS RELACIONADOS

- Potenciostato/Galvanostato OGS200+



- OGF05A Pack



Os potenciostatos e galvanostatos controlam e medem com precisão o potencial e a corrente em uma célula eletroquímica, permitindo estudar reações de oxidação e redução que ocorrem na interface entre um metal e o meio em que está exposto.

Fornecem curvas de polarização, taxas de corrosão e dados sobre a estabilidade de revestimentos e tratamentos de superfície frente a ambientes corrosivos específicos.

São aplicados em estudos de corrosão de ligas metálicas, no desenvolvimento de revestimentos anticorrosivos e na avaliação de sensores e eletrodos utilizados em ambientes industriais agressivos.

A linha OrigaLys, com os sistemas OGS200+ e OGF05A Pack, oferece controle e medição precisa de correntes e potenciais, sendo utilizada em estudos de corrosão, eletrossíntese e caracterização de materiais em ambientes acadêmicos e industriais.

Superfície em profundidade: SIMS revela elementos e isótopos

A espectrometria de massa de íons secundários (SIMS) bombardeia a superfície com um feixe de íons e analisa os íons secundários liberados, permitindo determinar a composição elementar e isotópica com alta sensibilidade em escala micro e nanométrica.

A técnica fornece detecção de impurezas e elementos traço, mapas químicos e perfis de profundidade capazes de revelar a distribuição de espécies entre a superfície, o revestimento e o substrato.

É aplicada na investigação de fragilização por hidrogênio, na caracterização de revestimentos tribológicos, na análise de falhas de adesão e interfaces e na detecção de contaminantes em ligas e materiais avançados.

PRODUTOS RELACIONADOS

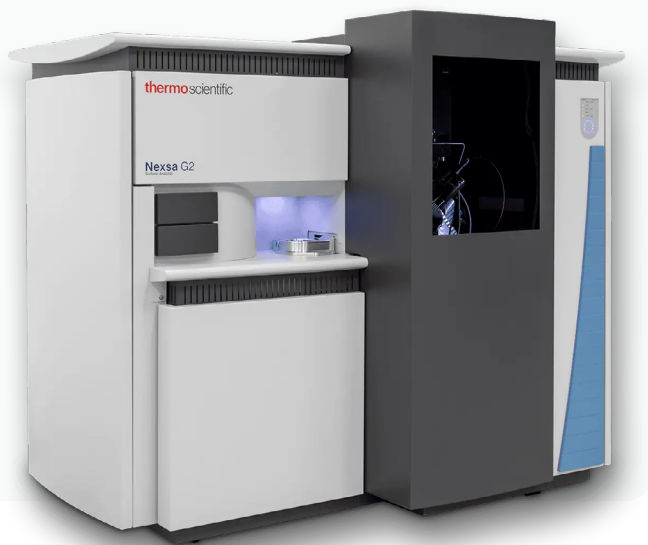
- Estação de Trabalho SIMS



Estados químicos sob a lente: XPS investiga a superfície

PRODUTOS RELACIONADOS

- *Espectrômetro de Fotoelétrons de Raios X Nexsa G2*



A espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS) mede a energia dos elétrons emitidos pela superfície da amostra após a incidência de raios X, identificando os elementos presentes e seus estados químicos ou de oxidação.

Fornece composição química superficial, identificação de óxidos e espécies ligadas e, com remoção controlada de camadas, perfis de profundidade de filmes e revestimentos.

É aplicada ao estudo de filmes passivos e corrosão, tratamentos térmicos de superfície, revestimentos, segregação interfacial, fraturas, oxidação em altas temperaturas e ligas avançadas.

Além do metal: identificando o que contamina e reveste

Em aplicações que envolvem produtos orgânicos associados a componentes metálicos, como lubrificantes, tintas, vernizes, adesivos, revestimentos poliméricos e produtos de corrosão, técnicas espectroscópicas moleculares como FTIR e Raman complementam as análises elementares e estruturais descritas anteriormente, identificando compostos orgânicos, contaminantes e produtos de degradação presentes na superfície ou em resíduos de processo.

Fornecem identificação química de contaminantes orgânicos, resíduos de lubrificantes, produtos de corrosão e camadas de revestimento polimérico, complementando dados elementares obtidos por OES ou XRF.

São aplicadas no controle de qualidade de lubrificantes e fluidos de corte, na investigação de falhas associadas a contaminação superficial e na caracterização de revestimentos orgânicos aplicados sobre substratos metálicos.

Do desafio à solução: Guia rápido de aplicações para Indústria Metal Mecânica

A tabela a seguir relaciona, de forma objetiva, os principais desafios industriais da metal mecânica às técnicas analíticas recomendadas, ao tipo de informação obtida, a um exemplo de aplicação e à família de produtos Tennessine associada.

DESAFIO INDUSTRIAL	TÉCNICA RECOMENDADA	INFORMAÇÃO OBTIDA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	PRODUTO / FAMÍLIA
Identificação de ligas	XRF portátil	Composição elementar rápida	Triagem de sucata e PMI em campo	Niton XL2 Plus / XL5 Plus
Equivalência de carbono	LIBS portátil	Teor de carbono e elementos leves	PMI antes de soldagem em tubulações	Niton Apollo
Composição do banho de fusão	OES por centelhamento	Composição elementar quantitativa	Controle de liga na aciaria e fundição	ARL iSpark / ARL easySpark
Fases cristalinas e textura	DRX de bancada	Identificação e quantificação de fases	Análise de pigmentos, revestimentos e ligas	AXRD Benchtop
Transformação de fase sob temperatura	DRX com controle térmico	Estrutura cristalina de -190°C a 2000°C	Estudos de transformação e estabilidade térmica	AXRD Theta-Theta
Tensão residual e austenita retida	DRX portátil	Estado de tensão em campo, sem seccionar a peça	Avaliação pós têmpera, retífica e shot peening	Sistema Portátil iXRD
Resistência à deformação	Dureza e microdureza	Escalas Vickers, Knoop, Rockwell, Brinell	Controle de tratamento térmico e camadas finas	Fenix 300RS / Nemesis 9100G2
Análise de falhas e inclusões	MEV / MEV-FIB	Morfologia de fratura e microanálise	Investigação de trincas e inclusões não metálicas	Helios 5 DualBeam / Prisma E SEM
Defeitos internos e porosidade	Tomografia computadorizada	Modelo volumétrico não destrutivo	Inspeção de peças fundidas e soldadas	CT-Portable / CT-Micro
Atrito, desgaste e fretting	Tribologia	Coeficiente de atrito e taxa de desgaste	Seleção de lubrificantes e pares metálicos	Tribômetro MFT-5000
Comportamento viscoelástico	Análise dinâmico-mecânica (DMA)	Módulo complexo e transições de fase	Adesivos e revestimentos poliméricos	DMA 303 Eplexor
Corrosão e revestimentos	Eletroquímica	Curvas de polarização e taxa de corrosão	Avaliação de revestimentos anticorrosivos	OGS200+ / OGF05A Pack
Composição elementar de alta precisão	WDXRF	Elementos majoritários, minoritários e traços	Controle de ligas metálicas e materiais complexos	ARL PERFORM'X

Juntas, as técnicas contam a história completa

Nenhuma técnica analítica, isoladamente, responde a todas as perguntas que a indústria metal mecânica precisa fazer sobre um material. **A confiabilidade de uma investigação, seja em controle de rotina, seja em análise de falha, aumenta significativamente quando diferentes técnicas são combinadas, cada uma contribuindo com uma camada distinta de informação.**

Em uma análise de falha típica, por exemplo, a espectrometria de emissão óptica ou a fluorescência de raios X confirmam se a composição química do componente corresponde à especificação. A difração de raios X revela se as fases presentes e o nível de tensão residual são compatíveis com o tratamento térmico esperado. Os ensaios de dureza e microdureza quantificam a resistência mecânica em diferentes regiões da peça. A microscopia eletrônica com microanálise por EDS identifica o modo de fratura

e eventuais inclusões associadas à origem da falha. E, quando o desgaste é um fator relevante, a tribologia caracteriza o comportamento superficial sob as condições reais de operação.

Essa integração também se aplica ao controle de processo. Um mesmo lote de aço temperado pode ser avaliado por OES na composição do banho, por DRX na tensão residual e na austenita retida após o tratamento térmico, e por dureza na verificação final, três técnicas complementares que, juntas, garantem que o material atenda simultaneamente aos requisitos de composição, microestrutura e desempenho mecânico.

A escolha de qual combinação de técnicas aplicar depende do desafio específico, da etapa do processo e do nível de detalhamento exigido, sendo esse justamente o critério que orienta a estrutura deste catálogo.

Ciência que sustenta o movimento

A confiabilidade de um componente metálico, seja ele um eixo automotivo, uma estrutura aeroespacial ou uma peça fundida para uso industrial, depende de decisões tomadas muito antes de sua entrada em operação: na escolha da liga, na condução do tratamento térmico, no controle da soldagem e na inspeção final. Em cada uma dessas etapas, a instrumentação analítica fornece os dados objetivos necessários para que essas decisões sejam tomadas com base em evidência, e não em suposição.

Este catálogo reuniu as principais técnicas aplicadas à indústria metal mecânica, da espectrometria de emissão óptica à tomografia computadorizada, passando por difração de raios X, dureza, microscopia eletrônica, tribologia, análise térmica e eletroquímica, organizadas por desafio, etapa de processo e aplicação prática. A escolha adequada da técnica, ou da combinação de técnicas, é o que permite transformar uma medição em uma decisão de engenharia consistente.



A Tennessine Instrumentação Analítica coloca à disposição da indústria metal mecânica brasileira e latino-americana esse portfólio integrado de soluções, com suporte técnico local e conhecimento aplicado às particularidades de cada processo industrial.



Tennessine

Parceira da ciência
Aliada do futuro

📷 [tennessineia](#)

🌐 [tennessine.com.br](#)

✉️ contato@tennessine.com.br

📍 Rio de Janeiro - RJ - Brasil

