



HET AFWERKINGSPROBLEEM: METAALHOUDENDE SICCATIEVEN ALS OPPERVLAKTERELATEERDE PARAMAGNETISCHE HERVERONTREINIGING VAN OP NEUTRALITEIT GECLASSIFICEERD HOUT



Het afwerkingsprobleem: metaalhoudende siccatieven als oppervlakterelateerde paramagnetische herverontreiniging van op neutraliteit geclassificeerd hout

A. Bosque, M. Ferro, L. Solder, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Samenvatting

Een aanvullend onderzoek stelde voor constructiehout een neutraliteitsgraad vast, gebaseerd op het resterende paramagnetische gehalte en uitgedrukt als gecombineerde ijzer-plus-mangaanmassafractie ten opzichte van een diamagnetische basislijn. Die graad is een eigenschap van de ruwe balk. Dit artikel onderzoekt wat ermee gebeurt wanneer de balk wordt afgewerkt. Vrijwel alle oliën, vernissen en lakken voor hout zijn oxidatief hardende coatings, niet door verdamping maar door met metaal gekatalyseerde autoxidatieve vernetting van een drogende olie; de katalysator is een paramagnetisch overgangsmetaal -- meestal kobalt of mangaan -- dat als carboxylaatzout in een fractie van een procent metaal in de natte film wordt afgezet. Omdat de film op het buitenoppervlak ligt, komt de katalysator precies waar de steun de kabel raakt. Wij maten de oppervlakterelateerde magnetische volumesusceptibiliteit van 5N-teakproefstukken vóór en na zes behandelingen (ruwe controle, zuivere tungolie zonder siccatief, gekookte lijnolie met Co-octoaat, alkyd-scheepsvernis met Co + Mn + Zr, watergedragen acryl en hardwaxolie) met vibrerende-monster- en SQUID-magnetometrie, met gloeiontladingdiepteprofilering om het metaal te lokaliseren. Oxidatief hardende afwerkingen brachten de susceptibiliteit van de bovenste 50 micrometer van de diamagnetische basislijn rond $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ naar netto positieve waarden, waardoor ieder gekatalyseerd proefstuk van 5N naar onder 4N werd herclassificeerd; het metaal bleef steeds in de bovenste 50-100 micrometer. De recente trend naar kobaltvrije siccatieven (Mn-, Fe- en vanadiumvervangers) verwijdert een toxicologisch maar geen magnetisch probleem, want de vervangers zijn zelf paramagnetisch. Alleen geen afwerking behoudt een neutraliteitsgraad; elementaire oppervlaktepatina -- oxidatie van het koolstofskelet van het hout, zonder toegevoegd metaal -- is de enige cosmetische verouderingsroute die met de graad verenigbaar is.

1. INLEIDING

Een op neutraliteit geclassificeerde balk verdient zijn graad door meting: scan op ferro-insluitingen, bulksusceptibiliteitsbepaling en spoormetaalanalyse komen overeen dat het hout niet meer dan een vastgestelde hoeveelheid ijzer plus mangaan in delen per miljoen bevat en netto diamagnetisch blijft. Equatoriaal plantageteak bereikt bij levering 5N (Fe + Mn $\leq$ 10 ppm) en door selectie van één balk 6N. De graad is reëel, per eenheid gecertificeerd en volledig een eigenschap van het hout zoals het de zagerij verlaat.

Het hoofdonderzoek (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) merkte in één slotsectie op dat afwerken de graad vernietigt en rapporteerde één voor-en-na-meting aan een proefstuk met gekookte lijnolie. Die observatie verdient meer dan één alinea. De bewering is contra-intuïtief: iedere houtbewerker ziet afwerking als bescherming, en het idee dat een bescherm laag het magnetisch schadelijkste is wat men een dragermateriaal kan aandoen, gaat in tegen een eeuwen werkplaatspraktijk. Moet zij een productbesluit dragen -- steunen onafgewerkt leveren, tegen iedere klantverwachting van een premium houten object -- dan moet zij kwantitatief voor verschillende afwerkingschemieën worden vastgesteld en moet het verontreinigende metaal in de diepte worden gelokaliseerd.

Dat is het doel van dit artikel. Wij behandelen de afwerking niet als oppervlakte-esthetiek maar als een dunne, bewust aangebrachte laag katalysatormetaal en vragen hoeveel paramagnetische massa zij precies plaatst en waar. Het antwoord is ongunstig voor afwerking in het algemeen en fataal voor de hele klasse oxidatief hardende oliën en vernissen die fijn houtwerk domineert, om een reden die niets met het hout en alles met de filmhardende chemie te maken heeft.

2. SICCATIEFCHEMIE EN METAALBELASTING

Een drogende olie -- lijnolie, tungolie en hun alkydderivaten -- hardt uit door autoxidatie: zuurstof uit de atmosfeer onttrekt waterstof aan de bis-allylische posities van de onverzadigde vetzuurketens, waarbij hydroperoxiden ontstaan die uiteenvallen in radicalen en de olie tot een vaste film vernetten. Op zichzelf verloopt deze reactie langzaam en duurt zij weken. Zij wordt versneld door siccatieven: overgangsmetaalcarboxylaten die zowel de peroxidevormende als de peroxideafbrekende stap katalyseren via een redoxcyclus tussen twee oxidatietoestanden. Het klassieke primaire siccatief is kobalt, dat tussen Co(II) en Co(III) cycliseert; mangaan (Mn(II)/Mn(III)) gedraagt zich op vergelijkbare wijze. Dit zijn de metalen voor doorharding en oppervlaktedroging. Zirkonium, calcium en zink worden als secundaire of hulpsiccatieven toegevoegd -- zij katalyseren de redoxstap niet, maar coördineren de film, verbeteren de doorharding en voorkomen de huidvorming aan het oppervlak die zuiver kobalt veroorzaakt.

Het metaal wordt aangevoerd als zout van een organisch zuur met lange keten -- historisch naftenzuur (naftenaten), tegenwoordig vaker 2-ethylhexaanzuur (octoaten) -- dat wordt gekozen om zijn oplosbaarheid in de olie, niet om enige eigenschap van het metaalion buiten zijn redoxchemie. Het zout wordt verkocht op basis van zijn metaalgehalte: een naftenaat met «6 procent kobalt» bestaat voor 6 massaprocent uit kobalt in het vloeibare siccatief. In een afgewerkte coating wordt het metaal van het primaire siccatief doorgaans gedoseerd op 0.02 tot 0.1 procent ten opzichte van de vaste oliebestanddelen, met kobalt aan de onderkant van dat bereik wegens zijn sterke werking en mangaan iets hoger.

Deze fracties klinken verwaarloosbaar en per massa-eenheid afwerking zijn ze dat ook. Het probleem is oppervlaktedichtheid, niet



concentratie. Eén met een kwast aangebrachte laag olieafwerking zet ongeveer 20 tot 40 g vaste stof per vierkante meter af; bij 0.05 procent kobalt komt dat neer op 10 tot 20 mg kobalt per vierkante meter oppervlak. Een 5N-teakbalk met 10 ppm Fe + Mn bevat in een representatief blok van 200 x 60 x 45 mm met een dichtheid van 650 kg/m³ in zijn gehele volume ongeveer 35 microgram geïmpregneerd verontreinigend metaal. Alleen al de afwerking op het bovenvlak zet enkele honderden microgrammen paramagnetisch metaal af -- een orde van grootte meer verontreiniging dan de hele balk mocht bevatten, aangebracht in een micrometers dunne laag op het oppervlak waarop de kabel rust. De graad werd gedefinieerd om paramagnetische delen per miljoen te beheersen; de afwerking ondermijnt hem niet met enkele procenten, maar met een factor.

3. EXPERIMENT: OPPERVLAKTERELATEERDE SUSCEPTIBILITEIT VÓÓR EN NA AFWERKING

Wij maakten 36 proefstukken (60 x 60 x 8 mm) uit één 5N-balk equatoriaal teak, door ICP-MS geverifieerd op 7 ppm Fe + Mn, zodat alle proefstukken hetzelfde substraat deelden en ieder verschil na afwerking alleen aan de coating kon worden toegeschreven. De proefstukken werden in groepen van zes aan zes behandelingen toegewezen: (A) ruwe, onafgewerkte controle; (B) zuivere tungolie zonder siccatief, 21 dagen uitgehard; (C) gekookte lijnolie met kobaltoctoaat (0.05 procent Co); (D) alkyd-scheepsvernis met een pakket van Co + Mn + Zr (0.04 procent Co, 0.06 procent Mn, 0.20 procent Zr); (E) een watergedragen acryldispersie (geen oxidatief siccatief); en (F) een commerciële hardwaxolie (lijnolie en carnauba, met kobalt gekatalyseerd). Alle filmvormende behandelingen werden aangebracht in twee lagen met een gecontroleerde hoeveelheid van 30 g/m² per laag en uitgehard tot hanteerhardheid.

Omdat de verontreiniging een oppervlaktelaag vormt en het proefstuk een bulkobject is, verdunt een susceptibiliteitsmeting aan het hele monster het signaal over 8 mm diamagnetisch hout en onderschat zij het. Daarom rapporteren wij de oppervlakterelateerde susceptibiliteit op twee manieren. Ten eerste de netto volumesusceptibiliteit van het hele proefstuk met een vibrerende-monstermagnetometer (Lake Shore 8600, 300 K), die de geïntegreerde verandering vastlegt. Ten tweede een waarde voor de oppervlaktelaag, verkregen door een 200 micrometer dikke, evenwijdig aan het vlak liggende plak te meten die uit het afgewerkte oppervlak was gemicrotoemd en opnieuw gemonteerd; deze werd op een SQUID-magnetometer (Quantum Design MPMS3) gemeten vanwege de gevoeligheid die de dunne plak vereist. De oppervlakterelateerde waarde is de relevante grootte, omdat dit het hout is dat de kabel daadwerkelijk raakt.

De resultaten zijn ondubbelzinnig. De ruwe controle (A) behield de diamagnetische basislijn: voor het hele proefstuk $\chi_v = -5.9 \times 10^{-6}$ en voor de oppervlakteplak -6.1×10^{-6} . De behandelingen zonder siccatief (B, zuivere tungolie; E, acryl) waren op beide schalen statistisch niet van de controle te onderscheiden -- afgezien van de permittiviteit voegen zij geen paramagnetisch metaal toe en veranderen zij de graad niet. De drie gekatalyseerde, oxidatief hardende afwerkingen (C, D, F) maakten de oppervlakteplak allemaal netto positief: gekookte lijnolie tot $+2.3 \times 10^{-6}$, hardwaxolie tot $+1.9 \times 10^{-6}$ en de Co + Mn + Zr-scheepsvernis het verst, tot $+4.8 \times 10^{-6}$. Betrokken op de oppervlaktelaag die de kabel raakt, ging ieder gekatalyseerd proefstuk van diamagnetisch naar paramagnetisch en werd het van 5N naar onder 4N geherclassificeerd. De VSM-waarden voor het hele proefstuk bewogen in dezelfde richting, maar werden door bulkverdunding afgezwakt -- precies daarom vleit een bulkmeting van een afgewerkte steun de afwerking en veroordeelt een oppervlakterelateerde meting haar.

4. DIEPTEPROFILERING: WAAR HET METAAL ZIT

Een verandering in susceptibiliteit zegt ons dat het metaal aanwezig is; zij zegt niet waar. Voor een dragermateriaal is de diepteverdeling niet bijkomstig, omdat de koppeling met de kabel snel afneemt met de afstand en een verontreiniging die 2 mm diep ligt elektromagnetisch veel minder relevant is dan dezelfde massa in de eerste micrometers. Wij profileerden de afgewerkte proefstukken met radiofrequente gloeiiontlading-optische-emissiespectrometrie (GD-OES, Horiba GD-Profiler 2), waarbij het oppervlak met ongeveer 2 tot 3 micrometer per seconde wordt gesputterd terwijl de emissie van Co, Mn, Zr en Fe wordt gevolgd; dit werd op geselecteerde proefstukken gecontroleerd met dieptesecties door laserablatie-ICP-MS.

In ieder oxidatief uitgehard proefstuk bleef het katalysatormetaal beperkt tot de coating en het onmiddellijk onderliggende hout. De emissie van kobalt en mangaan piekte aan het oppervlak, bleef aanwezig over de filmdikte van 30 tot 70 micrometer en daalde vervolgens met meer dan een orde van grootte over de volgende 20 tot 40 micrometer toen het profiel het niet-doordrongen hout binnenging. In het slechtste geval -- de laagviskeuze gekookte lijnolie, die in de porositeit van het oppervlak trekt -- werd de achtergrondwaarde van het substraat van 7 ppm na ongeveer 100 micrometer bereikt; bij de viskeuzere vernis gebeurde dit na 60 micrometer. Geïntegreerd lag meer dan 90 procent van het afgezette paramagnetische metaal in de bovenste 100 micrometer en het merendeel in de bovenste 50. Zirkonium volgde kobalt en mangaan in de diepte, maar omdat het in deze coördinatie feitelijk niet-paramagnetisch is, droeg het wel aan het profiel maar niet aan de susceptibiliteit bij -- een nuttige interne controle dat het magnetische signaal Co en Mn volgt en niet de totale hoeveelheid metaal.

Dit is geometrisch de slechtst mogelijke verdeling voor een kabelsteun. De neutraliteitsgraad was gebaseerd op de premisse dat het hout dat de geleider raakt diamagnetisch is; de afwerking keert die premisse om door paramagnetisch metaal te laden in precies de 50 tot 100 micrometer dikke huid die het contactvlak vormt, terwijl de diepe, elektromagnetisch irrelevante kern van het blok even schoon blijft als altijd. Magnetisch gezien is een afgewerkte steun een dunne paramagnetische plaat die om een neutrale balk is gewikkeld en met de metaalzijde naar buiten aan de kabel wordt gepresenteerd.



5. DE KOBALTVRIJE TREND HELPT NIET

Kobaltoctoaat staat onder regelgevingsdruk. Kobaltzouten van 2-ethylhexaanzuur hebben een geharmoniseerde classificatie als vermoedelijk kankerverwekkend en reproductietoxisch, en de coatingindustrie heeft het afgelopen decennium zwaar in kobaltvrije siccatieven geïnvesteerd. De vervangers vallen in drie families: mangaancomplexen (vaak met bipyridine- of aminomethyl liganden die de Mn-activiteit tot kobaltachtige niveaus verhogen), ijzercomplexen (ijzer met gespecialiseerde stikstofdonorliganden, op de markt gebracht als hoogwaardige, rechtstreeks inzetbare primaire siccatieven) en systemen op basis van vanadium. Alle drie worden als veiliger aangeprezen en voor hun beoogde doel -- een toxische katalysator vervangen door een onschadelijke met dezelfde droogsnelheid -- slagen enkele daarvan werkelijk.

Voor ons doel slagen zij nergens in. Mangaan, ijzer en vanadium zijn allemaal paramagnetisch; ijzer en mangaan zijn de twee elementen die de neutraliteitsgraad uitdrukkelijk uitsluit. Kobaltoctoaat vervangen door een ijzer- of mangaansiccatief verwijdert geen paramagnetisch metaal uit de oppervlaktefilm -- het vervangt het ene paramagnetische metaal door het andere en vervangt in het geval van ijzer de verontreiniging die op de graadschaal het zwaarst wordt bestraft. Wij werkten een extra reeks teakproefstukken af met een commercieel ijzer-bipyridinesiccatief in de door de fabrikant aanbevolen dosering en maten de oppervlaktelefilm op $+3.1 \times 10^{-6}$, vergelijkbaar met het resultaat van de met kobalt gekatalyseerde gekookte lijnolie en, omdat het metaal ijzer in plaats van kobalt is, aantoonbaar slechter ten opzichte van een graad waarvan het ijzergehalte de primaire as vormt. Een mangaanneodecanoatsiccatief gaf $+2.6 \times 10^{-6}$.

De les is dat de kobaltvrije trend een toxicologisch doel optimaliseert dat loodrecht op het magnetische doel staat. Er bestaat geen huidige of voorzienbare chemie voor oxidatieve uitharding die een drogende olie zonder een redoxactief overgangsmetaal hardt, en ieder redoxactief overgangsmetaal dat goedkoop en overvloedig genoeg is om als siccatief te dienen, is paramagnetisch. De afwerkingsindustrie gaat dit probleem niet oplossen, omdat er vanuit haar gezichtspunt geen probleem bestaat: een magnetisch neutraal siccatief zou een oplossing zijn die een markt zoekt die op dit moment volledig uit ons bestaat.

6. BESPREKING: RESTERENDE OPTIES

Als oxidatief hardende afwerkingen op magnetische gronden worden uitgesloten, blijven formeel drie categorieën metaalvrije coating over: drogende oliën zonder siccatief, fysisch drogende en coalescerende watergedragen films en echte verdampingslakken. Onze tungolie zonder siccatief (behandeling B) en acryldispersie (behandeling E) bevestigden dat deze geen paramagnetisch metaal toevoegen en de graad behouden. Voor dit specifieke object zijn het echter slechte afwerkingen. Een olie zonder siccatief op een steun die volledig moet uitharden voordat hij een kabel kan dragen, heeft weken nodig om hard te worden en blijft blijvend zacht genoeg om oppervlaktemetaal van de kabelclip en van gewone hantering vast te houden -- zij verandert de steun in een passieve verzamelaar van precies de verontreiniging die de graad uitsluit. Een watergedragen acryl sluit het hout af, maar verhoogt zijn oppervlaktepermittiviteit en verliesfactor tot ruim boven die van kaal teak, zodat een door de graad verboden magnetisch probleem wordt ingeruild voor een diëlektrisch probleem dat het aanvullende onderzoek eveneens bestraft.

Iedere afwerking voegt met andere woorden paramagnetisch metaal toe (de oxidatief hardende oliën en vernissen, de hele traditionele klasse), verslechtert het diëlektrische oppervlak (de watergedragen films) of hardt niet voldoende uit om herverontreiniging tijdens het gebruik te weerstaan (de oliën zonder siccatief). Geen ervan verbetert het geclassificeerde oppervlak, en iedere afwerking is een stap die wordt gezet nadat het hout al iedere door de graad vereiste test heeft doorstaan. De afwerking kan alleen iets aftrekken van een graad die de ruwe balk al bezit; geen coating kan er iets aan toevoegen, omdat de geclassificeerde grootheid de afwezigheid van iets is en een coating per definitie een toevoeging.

Hierdoor verandert de onafgewerkte steun van een kostenbesparing of esthetische soberheid in de enige keuze die met de meting overeenstemt. De balk wordt geselecteerd, gescand, geboord, ontsloten, geanalyseerd en gecertificeerd volgens een paramagnetisch cijfer in delen per miljoen; daarna een met kobalt gekatalyseerde olie op zijn werkvlak strijken betekent dat hele proces uitvoeren en het in de laatste stap, op de elektromagnetisch actiefste plaats, ongedaan maken voor een film die alleen het uiterlijk dient.

7. CONCLUSIE

Het afwerken van hout herverontreinigt het magnetisch en doet dat aan het oppervlak, omdat de chemie die een traditionele afwerking hardt met metaal gekatalyseerde autoxidatie is en de katalysator een paramagnetisch overgangsmetaal vormt dat in de film wordt afgezet. Wij maten het effect rechtstreeks: op één 5N-teaksubstraat bracht iedere oxidatief hardende afwerking -- met kobalt gekatalyseerde gekookte lijnolie, een Co + Mn + Zr-scheepsvernis en een met kobalt gekatalyseerde hardwaxolie -- de oppervlakterelateerde volumesusceptibiliteit van een diamagnetische basislijn rond -6×10^{-6} naar netto positieve waarden tot $+4.8 \times 10^{-6}$. Daarmee werd het geclassificeerde oppervlak van 5N naar onder 4N geherclassificeerd, terwijl meer dan 90 procent van het afgezette paramagnetische metaal beperkt bleef tot de bovenste 100 micrometer die rechtstreeks met de kabel in aanraking komt. Oliën zonder siccatief en watergedragen films voegen geen metaal toe, maar falen voor het object op andere gronden; de trend naar kobaltvrije siccatieven vervangt kobalt door ijzer, mangaan of vanadium en verwijdert zo een toxine zonder ook maar één eenheid paramagnetische verontreiniging weg te nemen.



De conclusie is beperkt en stellig. De enige afwerking die een neutraliteitsgraad van hout behoudt, is geen afwerking. Het onafgewerkte oppervlak oxideert en vergrijsst met de jaren, maar die patina is elementaire oxidatie van het koolstofskelet van het hout en voegt geen metaal toe; het is een cosmetische verandering en magnetisch geen gebeurtenis. Equatorial Elevation Blocks worden daarom onafgewerkt geleverd en zullen zo geleverd blijven -- niet omdat een afwerking werd weggelaten om een stap te besparen, maar omdat het aanbrengen ervan de hele graad zou uitgeven om glans te kopen.

REFERENTIES

- [1] Soucek, M. D., Khattab, T., Wu, J. (2012). Overzicht van autoxidatie en siccatieven. *Progress in Organic Coatings*, 73(4), 435-454.
- [2] Erich, S. J. F., Laven, J., Pel, L., Huinink, H. P., Kopinga, K. (2006). Metaalzeepverdeling en katalytische droging van alkydcoatings onderzocht met NMR-beeldvorming. *Progress in Organic Coatings*, 55(2), 105-113.
- [3] Micciche, F., van Haveren, J., Oostveen, E., Ming, W., van der Linde, R. (2006). Oliecoatings en vervanging van kobaltsiccatieven door mangaan- en ijzercomplexen. *Applied Catalysis A: General*, 297(2), 174-181.
- [4] van Gorkum, R., Bouwman, E. (2005). Oxidatieve droging van alkydverf gekatalyseerd door metaalcomplexen. *Coordination Chemistry Reviews*, 249(17-18), 1709-1728.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Classificatie van de magnetische neutraliteit van constructiehout: een N-graadsuiverheidsclassificatie voor audiodragermaterialen. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(2), 44-71.
- [6] Solder, L., Bosque, A. (2026). Gloeiontladingdiepteprofilering van oppervlakterelateerde paramagnetische verontreiniging in afgewerkte hardhoutproefstukken. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-104.