



YTBEHANDLINGSPROBLEMET: METALLISKA SICKATIV SOM YTBASERAD PARAMAGNETISK ÅTERKONTAMINERING AV NEUTRALITETSKLASSAT TRÄ



Ytbehandlingsproblemet: metalliska sickativ som ytbaserad paramagnetisk återkontaminering av neutralitetsklassat trä

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.

Sammanfattning

En kompletterande studie fastställde en neutralitetsgrad för konstruktionsvirke, grundad på kvarvarande paramagnetiskt innehåll och redovisad som den sammanlagda massfraktionen järn och mangan mot en diamagnetisk baslinje. Den graden är en egenskap hos det råa virkesämnet. Denna artikel behandlar vad som händer med den när ämnet ytbehandlas. Nästan varje olja, fernissa och lack som används på trä är en oxidativt härdande beläggning som inte hårdnar genom avdunstning utan genom metallkatalyserad autooxidativ tvärbinding av en torkande olja, och katalysatorn är en paramagnetisk övergångsmetall -- oftast kobolt eller mangan -- avsatt som ett karboxylatsalt i en bråkdel av en procent metall i den våta filmen. Eftersom filmen ligger på yttertan avsätts katalysatorn exakt där stödet kommer i kontakt med kabeln. Vi mätte ytbaserad magnetisk volymsusceptibilitet på provbitar av 5N-teak före och efter sex ytbehandlingar (obehandlad kontroll, ren tungolja utan sickativ, kokt linolja med Co-oktoat, alkydisk båtlack med Co + Mn + Zr, vattenbaserad akryl och hårdvaxolja) med vibrationsprovs- och SQUID-magnetometri samt djupprofilering med glimurladdning för att lokalisera metallen. De oxidativt härdande ytbehandlingarna höjde susceptibiliteten i de översta 50 mikrometrarna från den diamagnetiska baslinjen nära $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ till positiva nettovärden och omklassificerade varje katalyserad provbit från 5N till under 4N; metallen var i samtliga fall begränsad till de översta 50 till 100 mikrometrarna. Den nya trenden med koboltfria sickativ (ersättare baserade på Mn, Fe och vanadin) avlägsnar ett toxikologiskt problem men inte ett magnetiskt, eftersom ersättarna själva är paramagnetiska. Vi drar slutsatsen att den enda ytbehandling som bevarar en neutralitetsgrad är ingen ytbehandling alls och att elementär ytpatina -- oxidation av träets kolskelett, som inte tillför någon metall -- är den enda kosmetiska åldringsväg som är förenlig med graden.

1. INLEDNING

Ett neutralitetsklassat virkesämne förtjänar sin grad genom mätning: en skanning efter järnhaltiga inneslutningar, en bestämning av bulksusceptibilitet och en analys av spårmetaller visar samstämmigt att träet inte innehåller mer än ett specificerat antal miljondelar järn plus mangan och att dess magnetiska nettovolymssusceptibilitet förblir diamagnetisk. Ekvatorieell plantageteak når 5N (Fe + Mn $\leq$ 10 ppm) vid leverans och 6N genom urval av enskilda ämnen. Graden är verklig, certifierad per enhet och helt och hållet en egenskap hos träet när det lämnar sågverket.

Huvudstudien (Bosque, Ferro, Park och Tanaka, 2026) noterade i ett enda avslutande avsnitt att en ytbehandling förstör graden och redovisade en mätning före och efter behandling av en provbit med kokt linolja för att visa saken. Den observationen förtjänar mer än ett stycke. Påståendet är kontrainuitivt: varje träarbetare betraktar ytbehandling som skydd, och föreställningen att en skyddsfilm är det magnetiskt mest destruktiva som kan göras med ett stödmaterial strider mot ett sekel av verkstadspraxis. Om påståendet ska bära tyngden av ett produktbeslut -- att leverera stöden obehandlade, mot varje kundförväntan på ett förstklassigt träföremål -- måste det fastställas kvantitativt, över flera ytbehandlingskemier, med den förorenande metallen lokaliserad på djupet.

Det är syftet med denna artikel. Vi behandlar ytbehandlingen inte som ytlig estetik utan som ett tunt, avsiktligt avsatt lager katalysatormetall, och frågar exakt hur mycket paramagnetisk massa den placerar och var. Svaret är ogynnsamt för ytbehandling i allmänhet och förödande för hela den klass av oxidativt härdande oljor och fernissor som dominerar finsnickeriet, av ett skäl som inte har något med träet att göra och allt med den kemi som får filmen att härda.

2. SICKATIVKEMI OCH METALLHALTER

En torkande olja -- linolja, tungolja och deras alkydderivat -- härdras genom autooxidation: atmosfäriskt syre abstraherar väte från de bis-allyliska positionerna i de omättade fettsyredjorna och bildar hydroperoxider som bryts ned till radikaler och tvärbinder oljan till en fast film. Utan hjälp är reaktionen långsam och tar veckor. Den påskyndas av sickativ: övergångsmetallkarboxylater som katalyserar både de peroxidbildande och de peroxidnedbrytande stegen genom en redoxcykel mellan två oxidationstillstånd. Det klassiska primärsickativet är kobolt, som växlar mellan Co(II) och Co(III); mangan (Mn(II)/Mn(III)) beter sig på liknande sätt. Dessa är metallerna för genomtorkning och yttorkning. Zirkonium, kalcium och zink tillsätts som sekundär- eller hjälpsickativ -- de katalyserar inte redoxsteget men koordinerar filmen, förbättrar genomhärddningen och förhindrar den skinnbildning som rent kobolt orsakar vid ytan.

Metallen levereras som ett salt av en långkedjig organisk syra -- historiskt naftensyra (naftenater), numera oftare 2-etylhexansyra (oktoater) -- vald för sin löslighet i oljan, inte för någon annan egenskap hos metalljonen än dess redoxkemi. Saltet säljs efter sitt metallinnehåll: ett naftenat med "6 procent kobolt" innehåller 6 viktprocent kobolt i det flytande sickativet. I en färdig beläggning doseras primärsickativets metall vanligen till 0.02 till 0.1 procent av oljans fasta ämnen, med kobolt i den nedre änden av intervallet på grund av dess styrka och mangan något högre.

Dessa fraktioner låter försumbara, och per massenhet ytbehandling är de det. Problemet är ytmassa, inte koncentration. Ett enda



penslat lager oljeytbehandling avsätter i storleksordningen 20 till 40 g fasta ämnen per kvadratmeter; vid 0.05 procent kobolt motsvarar detta 10 till 20 mg kobolt per kvadratmeter yta. Ett 5N-teakämne med 10 ppm Fe + Mn innehåller, i ett representativt block på 200 x 60 x 45 mm med densiteten 650 kg/m³, ungefär 35 mikrogram klassad föroreningsmetall i hela sin volym. Ytbehandlingen på enbart ovansidan avsätter flera hundra mikrogram paramagnetisk metall -- en storleksordning mer förorening än hela ämnet tilläts innehålla, placerad i ett mikrometertunt lager på den yta där kabeln vilar. Graden definierades för att kontrollera paramagnetiska miljondelar; ytbehandlingen besegrar den inte med några procent utan med en faktor.

3. EXPERIMENT: YTBASERAD SUSCEPTIBILITET FÖRE OCH EFTER YTBEHANDLING

Vi beredde 36 provbitar (60 x 60 x 8 mm) ur ett enda ekvatoriskt teakämne av grad 5N, verifierat med ICP-MS till 7 ppm Fe + Mn, så att alla provbitar delade samma substrat och varje skillnad efter behandlingen kunde tillskrivas enbart beläggningen. Provbitarna delades i grupper om sex mellan sex behandlingar: (A) rå obehandlad kontroll; (B) ren tungolja utan sickativ, härdad i 21 dagar; (C) kokt linolja med koboltoktoat (0.05 procent Co); (D) alkydisk båtlack med ett paket av Co + Mn + Zr (0.04 procent Co, 0.06 procent Mn, 0.20 procent Zr); (E) en vattenbaserad akryldispersion (utan oxidativt sickativ); samt (F) en kommersiell hårdvaxolja (linolja och karnaubavax, koboltkatalyserad). Alla filmbildande behandlingar applicerades i två lager med kontrollerade 30 g/m² per lager och härdades till hanteringshårdhet.

Eftersom föroreningen är ett ytskikt och provbiten ett bulkföremål spåds signalen ut över 8 mm diamagnetiskt trä vid en susceptibilitetsmätning av hela provet, vilket underskattar den. Därför redovisar vi den ytbaserade susceptibiliteten på två sätt. Först som magnetisk nettovolymssusceptibilitet för hela provbiten, mätt med vibrationsprovsmagnetometer (Lake Shore 8600, 300 K), vilket fångar den integrerade förändringen. Därefter som ett ytskiktvärde, erhållet genom att mäta ett 200 mikrometer tjockt snitt som mikrotomerats parallellt med den behandlade ytan och monterats om, på en SQUID-magnetometer (Quantum Design MPMS3) med den känslighet som det tunna snittet kräver. Det ytbaserade värdet är det relevanta, eftersom det är detta trä kabeln faktiskt vidrör.

Resultaten är entydiga. Den råa kontrollen (A) behöll den diamagnetiska baslinjen, med $\chi_v = -5.9 \times 10^{-6}$ för hela provbiten och -6.1×10^{-6} för ytsnittet. Behandlingarna utan sickativ (B, ren tungolja; E, akryl) gick statistiskt inte att skilja från kontrollen på någon av skalorna -- bortsett från permittiviteten tillför de ingen paramagnetisk metall och flyttar inte graden. De tre katalyserade, oxidativt härdade behandlingarna (C, D, F) drev samtliga ytsnittet till ett positivt nettovärde: kokt linolja till $+2.3 \times 10^{-6}$, hårdvaxolja till $+1.9 \times 10^{-6}$ och båtlacken med Co + Mn + Zr längst, till $+4.8 \times 10^{-6}$. Hänfört till ytskiktet som kabeln kommer i kontakt med gick varje katalyserad provbit från diamagnetisk till paramagnetisk och omklassificerades från 5N till under 4N. VSM-värdena för hela provbitarna rörde sig i samma riktning men dämpades av bulkutspädningen -- vilket är precis varför en bulkmätning av ett färdigt stöd smickrar ytbehandlingen och en ytbaserad mätning fördömer den.

4. DJUPPROFILERING: VAR METALLEN SITTER

En förändring i susceptibilitet säger att metallen finns; den säger inte var. För ett stödmaterial är djupfördelningen inte oväsentlig, eftersom kopplingen till kabeln avtar brant med avståndet och en förorening begrävd 2 mm ned är elektromagnetiskt långt mindre relevant än samma massa i de första mikrometrarna. Vi profilerade de behandlade provbitarna med optisk emissionsspektrometri med radiofrekvent glimurladdning (GD-OES, Horiba GD-Profiler 2), som sputtrar ytan med ungefär 2 till 3 mikrometer per sekund samtidigt som emission från Co, Mn, Zr och Fe följs, och dubbelkontrollerade utvalda provbitar genom djupsektionering med laserablations-ICP-MS.

I varje oxidativt härdad provbit var katalysatormetallen begränsad till beläggningen och träet omedelbart under den. Kobolt- och manganemissionen nådde sitt maximum vid ytan, låg kvar genom filmens tjocklek på 30 till 70 mikrometer och föll sedan med mer än en storleksordning över de följande 20 till 40 mikrometrarna när profilen gick in i opåverkat trä; bakgrundsvärdet på 7 ppm i substratet nåddes vid ungefär 100 mikrometer i det värsta fallet (den lågviskösa kokta linoljan, som sugs in i ytporositeten) och vid 60 mikrometer för den mer viskösa fernissan. Integrerat låg mer än 90 procent av den avsatta paramagnetiska metallen inom de översta 100 mikrometrarna och merparten inom de översta 50. Zirkonium följde kobolt och mangan på djupet men bidrog, eftersom det i denna koordination är praktiskt taget icke-paramagnetiskt, till profilen utan att bidra till susceptibiliteten -- en användbar intern kontroll som visar att den magnetiska signalen följer Co och Mn och inte den totala metallhalten.

Detta är den geometriskt sämsta möjliga fördelningen för ett kabelstöd. Neutralitetsgraden byggde på premisen att träet i kontakt med ledaren är diamagnetiskt; ytbehandlingen vänder på premisen genom att ladda paramagnetisk metall i just det 50 till 100 mikrometer tjocka skikt som utgör kontaktytan, medan blockets djupa, elektromagnetiskt irrelevanta kärna förblir lika ren som någonsin. Magnetiskt sett är ett ytbehandlat stöd en tunn paramagnetisk plåt lindad runt ett neutralt ämne och presenterad för kabeln med metallsidan utåt.

5. TRENDEN MED KOBOLTFRIA SICKATIV HJÄLPER INTE

Koboltoktoat är utsatt för regulatoriskt tryck. Koboltsalter av 2-etylhexansyra har en harmoniserad klassificering som misstänkt cancerframkallande och reproduktionstoxiska, och beläggningsindustrin har investerat kraftigt i koboltfria sickativ under det senaste decenniet. Ersättarna tillhör tre familjer: mangankomplex (ofta med bipyridin- eller aminometylligander som höjer Mn-aktiviteten till



koboltliknande nivåer), järnkomplex (järn med specialiserade kvävedonerande ligander, marknadsförda som högpresterande direkta primärsickativ) och vanadinbaserade system. Alla tre marknadsförs som säkrare, och för sitt avsedda syfte -- att ersätta en giftig katalysator med en harmlös vid samma torkhastighet -- lyckas flera faktiskt.

För vårt syfte lyckas de inte med någonting. Mangan, järn och vanadin är alla paramagnetiska; järn och mangan är de två ämnen som neutralitetsgraden uttryckligen är definierad för att utesluta. Att byta koboltoktoat mot ett järn- eller mangansickativ avlägsnar inte paramagnetisk metall ur ytfilmen -- det ersätter en paramagnetisk metall med en annan och ersätter i järnfallet med den enskilt hårdast bestraffade föroreningen på gradskalan. Vi behandlade ytterligare en uppsättning teakprov med ett kommersiellt järn-bipyridinsickativ vid tillverkarens rekommenderade dos och mätte ytsnittet till $+3.1 \times 10^{-6}$, jämförbart med resultatet för koboltkatalyserad kokt linolja och, eftersom metallen är järn snarare än kobolt, möjligen värre mot en grad vars primära axel är järnhalt. Ett sickativ av manganneodekanoat gav $+2.6 \times 10^{-6}$.

Lärdomen är att den koboltfria trenden optimerar ett toxikologiskt mål som är ortogonalt mot det magnetiska. Det finns ingen känd eller förutsebar kemi för oxidativt hårdande sickativ som hårdar en torkande olja utan en redoxaktiv övergångsmetall, och varje redoxaktiv övergångsmetall som är tillräckligt billig och vanlig för att fungera som sickativ är paramagnetisk. Ytbehandlingsindustrin kommer inte att lösa detta problem, eftersom det ur dess synvinkel inte finns något problem att lösa: ett magnetiskt neutralt sickativ vore en lösning på jakt efter en marknad som för närvarande består enbart av oss.

6. DISKUSSION: ÅTERSTÅENDE ALTERNATIV

Om oxidativt hårdande ytbehandlingar utesluts av magnetiska skäl återstår formellt tre metallfria kategorier av beläggningar: torkande oljor utan sickativ, fysikaliskt torkande och koalescerande vattenbaserade filmer samt verkliga avdunstningslackar. Vår tungolja utan sickativ (behandling B) och akryldispersion (behandling E) bekräftade att dessa inte tillför någon paramagnetisk metall och bevarar graden. De är dock dåliga ytbehandlingar för just detta föremål. En olja utan sickativ på ett stöd som måste hårdas fullständigt innan det kan bära en kabel tar veckor att hårdna och förblir permanent mjuk nog att hålla kvar ytmetall från kabelklämman och normal hantering -- den förvandlar stödet till en passiv uppsamlare av exakt den förorening som graden utesluter. En vattenbaserad akryl tätar träet men höjer dess ytpermittivitet och förlusttangens långt över obehandlad teak och byter därmed ett magnetiskt problem som graden förbjuder mot ett dielektriskt problem som den kompletterande studien också bestraffar.

Varje ytbehandling tillför med andra ord antingen paramagnetisk metall (de oxidativt hårdande oljorna och fernissorna, hela den traditionella klassen), försämrar den dielektriska ytan (de vattenbaserade filmerna) eller misslyckas med att hårdas tillräckligt för att motstå återkontaminering i bruk (oljorna utan sickativ). Ingen förbättrar den klassade ytan, och var och en är ett steg som tas efter att träet redan har klarat alla prov som graden kräver. Ytbehandlingen kan bara dra av från en grad som det råa ämnet redan har; ingen beläggning kan lägga till något, eftersom den storhet som klassas är frånvaron av någonting och en beläggning per definition är ett tillägg.

Detta omformulerar det obehandlade stödet från en kostnadsbesparing eller estetisk stramhet till det enda val som är förenligt med mätningen. Ämnet väljs, skannas, kärnböras, bryts ned, analyseras och certifieras till ett paramagnetiskt värde i miljondelar; att därefter pensla en koboltkatalyserad olja på dess arbetsyta är att genomföra hela processen och göra den ogjord i sista steget, på den elektromagnetiskt mest aktiva platsen, för en ytfilms skull.

7. SLUTSATS

Ytbehandling av trä återkontaminerar det magnetiskt och gör det vid ytan, eftersom den kemi som hårdar en traditionell ytbehandling är metallkatalyserad autooxidation och katalysatorn är en paramagnetisk övergångsmetall som avsätts i filmen. Vi mätte effekten direkt: på ett enda substrat av 5N-teak drev var och en av de oxidativt hårdande behandlingarna -- koboltkatalyserad kokt linolja, en båtlack med Co + Mn + Zr och en koboltkatalyserad hårdvaxolja -- den ytbaserade magnetiska volymsusceptibiliteten från en diamagnetisk baslinje nära -6×10^{-6} till positiva nettovärden så höga som $+4.8 \times 10^{-6}$, omklassificerade den graderade ytan från 5N till under 4N och lämnade mer än 90 procent av den avsatta paramagnetiska metallen inom de översta 100 mikrometrarna i direkt kontakt med kabeln. Oljor utan sickativ och vattenbaserade filmer tillför ingen metall men underkänner föremålet av andra skäl; trenden med koboltfria sickativ ersätter med järn, mangan eller vanadin och avlägsnar därmed ett gift utan att avlägsna en enda enhet paramagnetisk förorening.

Slutsatsen är snäv och bestämd. Den enda ytbehandling som bevarar ett virkesämnes neutralitetsgrad är ingen ytbehandling. Den obehandlade ytan oxiderar och grånar med tiden, men patinan är elementär oxidation av träets kolskelett och tillför ingen metall; den är en kosmetisk förändring och en magnetisk icke-händelse. Equatorial Elevation Blocks levereras därför, och kommer fortsatt att levereras, obehandlade -- inte för att en ytbehandling utelämnades för att spara ett steg, utan för att en applicering skulle förbruka hela graden för att köpa glans.

REFERENSER

- [1] Soucek, M. D., Khattab, T., Wu, J. (2012). Översikt över autooxidation och sickativ. Progress in Organic Coatings, 73(4), 435-454.



- [2] Erich, S. J. F., Laven, J., Pel, L., Huinink, H. P., Kopinga, K. (2006). Fördelning av metalltvålar och katalytisk torkning av alkydbeläggningar studerad med NMR-avbildning. *Progress in Organic Coatings*, 55(2), 105-113.
- [3] Micciche, F., van Haveren, J., Oostveen, E., Ming, W., van der Linde, R. (2006). Oljebaserade beläggningar och ersättning av koboltsickativ med mangan- och järnkomplex. *Applied Catalysis A: General*, 297(2), 174-181.
- [4] van Gorkum, R., Bouwman, E. (2005). Oxidativ torkning av alkydfärg katalyserad av metallkomplex. *Coordination Chemistry Reviews*, 249(17-18), 1709-1728.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Magnetisk neutralitetsklassning av konstruktionsvirke: en renhetsklassificering enligt N-skalan för stödmateriell till ljudkablar. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(2), 44-71.
- [6] Solder, L., Bosque, A. (2026). Djupprofilering med glimurladdning av ytbaserad paramagnetisk kontaminering i behandlade lövträprov. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-104.