

Bundmalingers rolle i reduktion af skibes friktionsmodstand

Studier fra Hempels laboratorier. Bl.a. beskrives problematikken med skibes skrogruheid og ruhedens betydning for friktionsmodstand, og det illustreres, hvordan et dynamisk afprøvningsudstyr er blevet anvendt

Af Claus E. Weinell, Hempel A/S

I moderne skibsfart er skibsbundens tilstand af stor økonomisk betydning, da det er den, der skal drives gennem vandet og derved møder modstand. Enhver forøgelse af skrogruheden giver ekstra driftsomkostninger, enten pga. forøgede brændelseskostninger (konstant fart) eller pga. tabt indtjening forårsaget af mistet fart (konstant brændselsforbrug). Hvis skibsbundens tilstand er for alvorlig, må skibet i yderste konsekvens gå i tørdok uden for den normale vedligeholdelsesplan. Det betyder ekstraomkostninger i form af tabt arbejdsfortjeneste, arbejde i og leje af tørdok, afrensning af eventuel begroning og defekt malingssystem samt påføring af nyt malingssystem bestående af antikorrosiv maling efterfulgt af bundmaling.

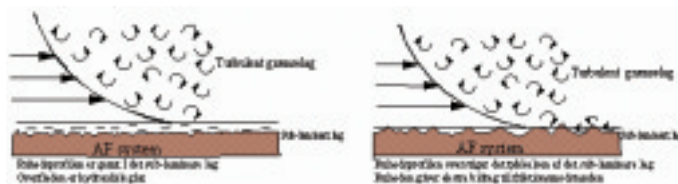
Her behandles skibes skrogruheid og ruhedens betydning for friktionsmodstand. Det illustreres, hvordan et dynamisk afprøvningsudstyr i Hempel A/S' laboratorier er blevet brugt til at måle vandfriktion på en simuleret skibsside og til at vurdere betydningen af ujævnheder fremkommet ved f.eks. marin begroning, dårlig malingspåføring samt svejsesømme ift. en ren bundmalings overflade. Den selvpolerende egenskab af to udvalgte kommercielle bundmalinger er dels demonstreret ved ruhedsmåling, dels ved friktionsmåling. Dvs. der er fokus på bundmalingens rolle i at reducere ruheid.

Hvilke modstande møder et skib?

De største modstande et skib møder, er bølger skabt af skibet selv og friktionsmodstanden ved passage gennem vandet. Bølge-modstand er ekstrem vigtig. Den stiger dramatisk med hastigheden og er altdominerende ved høj hastighed. Ud over hastigheden er skibets udformning, især længde/breddeforholdet, af stor betydning. Ved samme hastighed vil et langt og smalt skib have mindre bølgemodstand end et kort og bredt. En anden vigtig skibsteknisk detalje er bulben, hvis opgave foran på skibet er at danne bølger,

Industriel udvikling og test af bundmalinger

Hempel A/S har siden 1915 fremstillet og udviklet industri-maling, deriblandt antifoulingmaling. En meget vigtig del af udviklingsarbejdet af antifoulingmalinger ligger i både dynamisk og statisk afprøvning. Den statiske afprøvning sker især i Middelhavet og i tropisk farvand omkring Singapore. Her afprøves biocidsammensætningens effektivitet over for begroning. Den dynamiske afprøvning bliver udført vha. rotoropstillinger enten i laboratoriet eller direkte i havet syd for Barcelona og sidst men ikke mindst på skibstestarealer. Her undersøges både polerings- og udludningsmønsteret samt effektiviteten over for begroning.



Figur 1. Langs skibets undervandsskrog dannes et turbulent grænselag under sejlads. Helt tæt ved skibssiden findes et sublaminaert lag (10-30 µm), hvor vandet bevæger sig med skibssiden. Hvis ruhestoppen på skibssiden er gemt i dette lag, kan overfladen betragtes som hydraulisk glat. Omvendt, hvis ruhestoppene overstiger tykkelsen af dette lag, så giver ruheden et ekstra bidrag til friktionsmodstanden.

der interfererer destruktivt med bl.a. hækølgerne og dermed ned-sætter bølgebidraget. Ved den hastighed hvormed et kommercielt skib drives, har den anden store modstand, friktionsmodstanden, mindst lige så stor betydning som bølgemodstanden. Typisk udgør friktionsmodstanden mindst halvdelen af totalmodstanden. Friktionsmodstanden mellem skibssiden og vandet skyldes viskøse effekter og dannelsen af turbulens i grænselaget tæt på overfladen. Selv en helt glat overflade møder modstand i vandet. I overgangen fra overfladen til det turbulente grænselag er der et meget tyndt, stillestående lag, det sublaminaere lag. Overskrider overfladens ruheid ikke dette lag, kan den betragtes som hydraulisk glat. Overskrider ruhestoppene derimod lagets tykkelse, giver ruheden et ekstra bidrag til friktionsmodstanden.

Fænomenet bag grænselaget er meget komplekst. Strukturen er forsøgt forenklet i figur 1. Tykkelsen af det sublaminaere lag er for et skib i størrelsesordenen 10-30 µm, men med den overfladebeskaffenhed man typisk ser på en skibsside, vil ruheden uden tvivl give et ekstra bidrag til friktionsmodstanden. Faktisk kan man på et nybygget skib i bedste fald måle ruhestoppe fordelt over skibssiden med en gennemsnitshøjde på 100 µm.

Hvordan opstår skrogruheid?

Man skelner normalt mellem to typer skrogruheid:

- den fysiske, der vedrører kvaliteten af dokarbejdet, dvs. afrensning og malingspåføring, mekaniske skader, svejsesøm, buler, rust osv.
 - og den biologiske, der vedrører marin begroning.
- Når et skib er i brug, vil man pga. mekaniske skader, rust, begroning på ubeskyttede steder osv. observere en stadig stigende overfladeruheid. Det er ikke ualmindeligt, at et skibs gennemsnitsruheid kan overstige 500 µm efter flere års sejlads, men det er meget afhængigt af vedligeholdelsen og dermed også det valgte malingssystem. Mht. den fysiske skrogruheid er et velfungerende

antikorrosivt malingssystem vigtigt for at minimere rustangreb og mindske mekaniske skader. Opgaven for bundmalingen (yderst) er at holde den marine begroning væk fra skibssiden og i nogen grad udjævne småskader opstået under sejladser. Dermed er valget af malingssystem en meget vigtig faktor for en så lav friktion som muligt. I sidste ende er det skibsejerens beslutning at finde den bedste balance mellem udgifterne ved god vedligeholdelse og indtjeningen ved at sejle med minimal friktionsmodstand.

Begroning og begroningsbekæmpelse

Begroning og begroningsbekæmpelse er ikke noget nyt fænomen. Ulemperne ved marin begroning har været kendt og beskrevet i mere end 2000 år.

I gammel tid blev der brugt metalforhudning (kobber eller bly) af træskibe eller opvarmet talg, tjære, voks eller beg. I begyndelsen blev sidstnævnte påført direkte på undervandsskroget, men senere blev der iblandet et effektivt aktivstof, der blev afgivet mere eller mindre kontrolleret, f.eks. arsenik-, bly- eller kviksølvsalte.

Det første patent på en decideret antifoulingmaling blev allerede udtaget i 1625, og de førnævnte aktivstoffer har faktisk været brugt helt op til 2. verdenskrig. Miljøbelastningen fra disse »bundmalinger« var stor, malingernes effektive levetid lav og skrogruhen betragtelig. Efter 2. verdenskrig skete der et stort spring i udviklingen i form af kemisk syntetiserede polymerer og nye opløsningsmidler. Specielt brugen af det bredspektrede biocid, tributyltin (TBT) gav et enormt løft i effektiviteten. TBT blev brugt i »selvpolerende« bundmalinger, hvor det var direkte inkorporeret i den hydrofobe, dog med tiden mere og mere vandopløselige malingsbinder. Malingerne udmærker sig ved en effektiv og kontrolleret dosering af biocid ved skibssiden under drift og ved en udglattende eller »selvpolerende« virkning på småruheder.

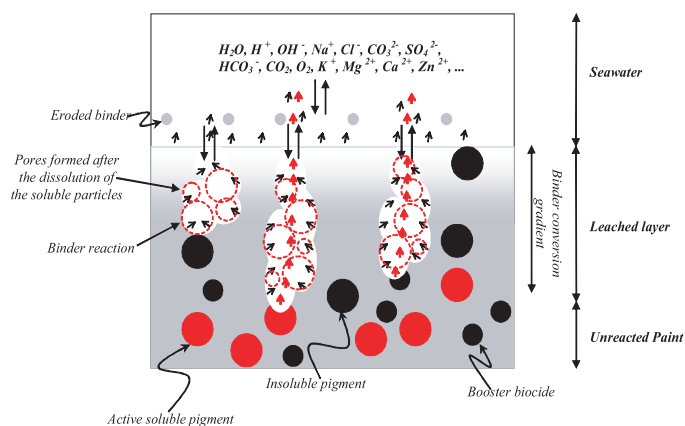
Pga. uheldige miljømæssige bivirkninger forårsaget af TBT-holdige malinger er malingstyperne efter at have domineret markedet i ca. tre årtier næsten helt udfaset. Nye, mere miljøvenlige, tinfri malingsteknologier, der løbende udvikles og optimeres, har derfor set dagens lys.

Virkemåden af antifoulingmaling

Moderne antifoulingmalinger bygger på Cu_2O (hovedbiocid), der sammen med andre aktive stoffer, co-biocider erstatter TBT. Et begroningshindrende malingslag, der efter påføring og tørring typisk er 300-500 μm tykt, skal både indeholde og frigive den korrekte mængde aktivstoffer i helt op til 5 år. Vægtmæssigt udgør aktivstofferne i en antibegroningmaling typisk 35-45%, resten er bindemidler, uopløselige pigmenter, div. additiver og opløsningsmidler. Alt i alt kan indholdet af forskellige malingskomponenter let udgøre 10-15 forskellige stoffer, hvilket naturligvis giver ekstra udfordringer i forståelsen af eventuelle vekselvirkninger.

Figur 2 illustrerer virkemåden af en antifoulingmaling, der kan beskrives på følgende måde: Vand og salte i havvandet reagerer med det opløselige Cu_2O -pigment. Det dannede kobberkompleks, CuCl_2 , diffunderer ud til malingsoverfladen og efterlader derved et porøst netværk (det udludede lag). Cu^+ (i komplekset) oxideres efterfølgende i havvandet til Cu^{2+} og giver sin biocidvirkning i umiddelbar nærhed af malingsoverfladen. Samtidig med at Cu_2O reagerer med havvandet, sker der også en opløsningsreaktion af malingens bindersystem, både på selve overfladen og i de dannede porer. Det inkorporerede co-biocid afgives i samme takt som binderopløsningsfronten bevæger sig fremad.

Totalt set er en selvpolerende bundmaling især kontrolleret af koblingen mellem opløsningshastigheden af Cu_2O (og diffusionen af kobberkomplekset gennem det udludede lag) og reaktionshastigheden mellem havvandet og binderfasen, [1]. En velfungerende antifoulingmaling vil i løbet af kort tid udvide en Cu_2O -opløsningsfront, der bevæger sig med samme hastighed som binderopløsningsfronten og samtidig har en udglattende effekt på små-ujævnheder.



Figur 2. Vand og salte i havvandet reagerer med Cu_2O , hvorved der dannes et porøst netværk. Samtidig sker der også en opløsningsreaktion af bindersystemet både på selve overfladen af malingen og i de dannede porer. Det inkorporerede co-biocid (booster biocid) afgives i samme takt som binderopløsningsfronten bevæger sig fremad, [2].

Eksperimentel undersøgelse af friktion på en simuleret skibsside

Formålet med de eksperimentelle undersøgelser er:

- 1) at sammenligne friktionen af sprøjtepåførte antifoulingmalinger af forskellig teknologi (TBT-baseret acrylat, silyleret acrylat, metalacrylat og zink-resinatype med fiberforstærkning) med en hydraulisk glat overflade,
- 2) at belyse selvpolerende egenskaber af to udvalgte kommercielle antifoulingmalinger og
- 3) at vurdere betydningen af større ujævnheder fremkommet ved marin begroning, lavkvalitetspåføring af maling og simulerede svejse sømme sammenlignet med en ren højkvalitetspåført overflade. Detaljer omkring de forskellige malings-teknologier kan findes i [2].

Friktionsundersøgelserne er blevet udført vha. en rotoropstilling, der normalt benyttes til dynamisk undersøgelse af antifoulingmalingspoleringsmønstre, dvs. opløsning/erodering i havvand, figur 3. I

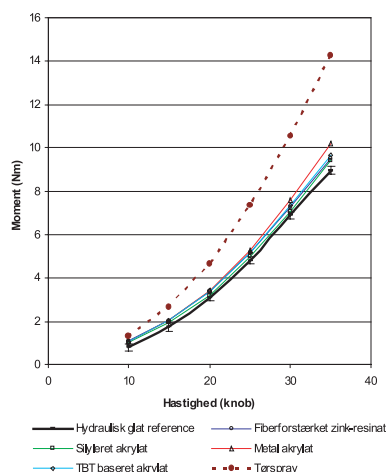


Figur 3. Laboratorierotorer er et vigtigt værktøj i udvikling af antifoulingmaling. Her undersøges især polerings- og biocidudledningsmønstre, men i dette arbejde er opstillingen også brugt til at bestemme friktionsmodstand på en simuleret skibsside.

AAS · ICP/MS
UV-VIS · LC/MS
GC/MS · FT-IR/NIR

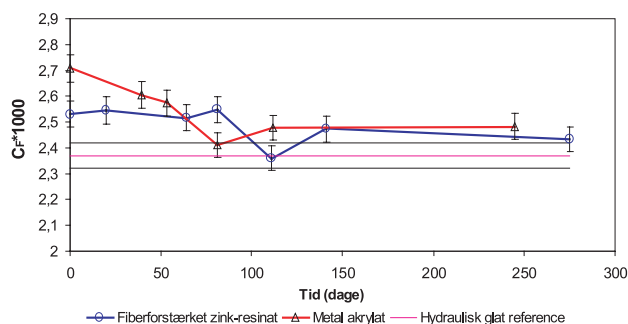
Nu er vi her !
48 16 62 00 · Gydevang 17-19 · 3450 Allerød

Thermo
ELECTRON CORPORATION

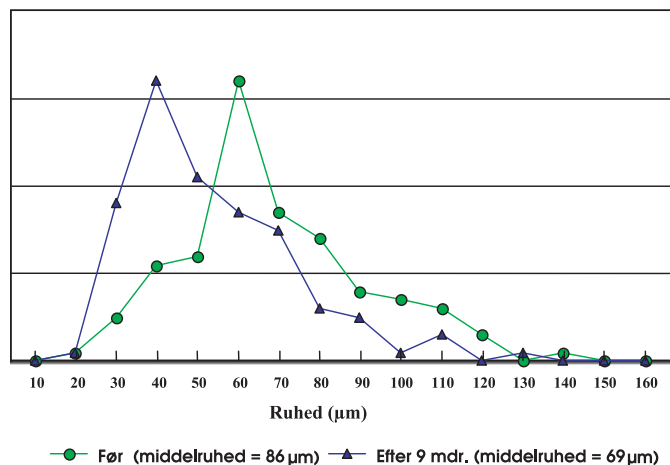


Figur 4. Resultaterne viser, at friktionen af de forskellige friskpårte malingsteknologier er meget ens og kun en anelse højere end for den hydraulisk glatte reference. Effekten af sprøjtestøv på overfladen er meget stor.

hydraulisk glatte overflade. Den lille forskel skyldes de småruheder, der opstår, når en antifoulingmaling påsprøjtes, og de små ujævnheder malingen fremstår med under optørring. Det er dog kun ved de højeste hastigheder (> 20 knob), at disse forskelle bliver signifikante, når måleusikkerheden tages i betragtning (se usikkerhedsin-



Figur 5. To antifoulingmaling, den fiberforstærkede zink-resinat- og metalacrylatypen er blevet eksponeret i havvand (30 knob, 30°C) i op til 9 måneder. Det viser sig, at begge teknologier udviser en udglattende effekt, idet friktionskoefficienten falder i takt med eksponeringstid. Efter ca. 2 måneder er der ingen signifikant forskel mellem dem og den hydraulisk glatte reference.



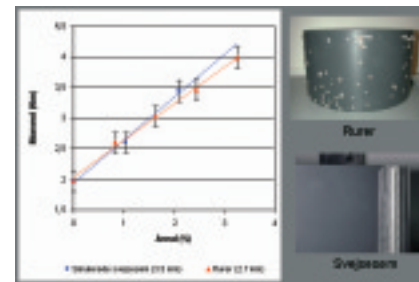
Figur 6. Ved eksponering i havvand (30 knob, 30°C) i ca. 9 måneder flytter ruhedsfordelingen sig for den fiberforstærkede antifoulingmaling til et lavere niveau, dvs. malingen har en udglattende effekt.

tervallerne på den glatte references datapunkter). Det passer i øvrigt fint med, at det sublaminaire lag bliver tyndere ved højere hastighed, og de små ruhestoppe derfor får større betydning. For at se effekten af sprøjte kvaliteten er der medtaget et eksempel, hvor tørssprøjtning er fremprovokeret. Dvs. overfladen fremstår med små ruheder bestående af sprøjtestøv. I figur 4 ses det, at effekten af sprøjtestøvet er en ca. 40% højere friktion.

Konklusionen på denne første undersøgelse er, at kvaliteten af påføringen er langt vigtigere end den egentlige malingsteknologi.

Anden del, undersøgelsen af selvpolerende egenskaber er udført ved at to forskellige malingsteknologier, en fiberforstærket zink-resinat- og en metal-acrylattype, er blevet eksponeret i en rotoropstilling med havvand ved 30 knob og 30°C. Friktionskoefficienten er i forsøgsserien blevet målt som funktion af tiden. I figur 5 ses det, at friktionskoefficienten falder for begge teknologier, faktisk til niveauet for en hydraulisk glat overflade, efter ca. et par måneder. Dvs. de selvpolerende egenskaber for de to udvalgte malingsteknologier er dermed påvist. Den udglattende effekt er også bekræftet i figur 6, hvor ruhedsfordelingen for den fiberforstærkede antifoulingmaling tydeligt flytter sig til et lavere niveau efter ca. 9 måneders eksponering i havvand.

Tredje og sidste del, undersøgelsen af effekten fra marin begroning og større fysiske ujævnheder, er vist i figur 7. Simulerede svejsesømme og rurer (omtrent 3 mm høje) er anbragt på en prøvecylinder, og i begge tilfælde ses det, at friktionen fordobles ift. en ren overflade, hvis overfladen er dækket med blot 3% rurer eller svejsesømme. Disse observationer viser igen tydeligt, hvor vigtigt det er at holde den form for større ujævnheder på et så lavt niveau som muligt.



Figur 7. Effekten af større fysiske ujævnheder er betragtelig. Hvis overfladen er dækket med blot 3% svejsesøm eller rurer (ca. 3 mm høje), så fordobles friktionen.

Konklusion

De eksperimentelle undersøgelser viser, hvor vigtigt det er at holde begroning væk fra skibssiden. De viser også vigtigheden af at holde de større fysiske ujævnheder væk eller i det mindste på et så lavt niveau som muligt. Dvs. vedligeholdelsen af skibet og kvaliteten af det arbejde, der foregår, når et skib er i dok, er yderst vigtig for den ruhed og dermed ekstra friktionsmodstand skibet har, når det forlader dokken. Et velfungerende antikorrosivt malings-system vil minimere rustangreb, malingsafskalninger og i nogen grad mekaniske skader, mens bundmalingen vil holde den marine begroning væk fra skibssiden og i nogen grad endda udjævne småskader opstået under sejladsen. Dermed er valget af malings-system en meget vigtig faktor for at holde friktionen så lav som muligt. I sidste ende vil det dog være skibsejerens beslutning at finde den rigtige balance mellem udgifterne ved en god vedligeholdelse samt et godt malingsystem og indtjeningen ved at sejle med minimal friktionsmodstand.

E-mail-adresse
Claus E. Weinell: cwe@dk.hempel.com

Referencer

1. S. Kiil, C. E. Weinell, M. S. Pedersen, K. Dam-Johansen, *Indust. Eng. Chem. Res.* 2001, 40, 3906-3920.
2. D. M. Yebra, S. Kiil, K. Dam-Johansen, *Prog. Org. Coat.* 2004, 50 (2), 75.
3. C. E. Weinell, K. N. Olsen, M. W. Christoffersen and S. Kiil, *Biofouling.* 2003, 19, 45-51.