

Termokemisk overfladebehandling af stål

af

H. C. Dam

Abstract

The focus of this article is the most common thermo chemical surface heat treatment processes.

Process parameters are given for the individual processes and the highest obtainable surface hardness and case depth are mentioned for selected structural and tool steels.

Typical applications for the different processes with examples of materials selection and process specifications are given.

The strong and weak sides of the most common types of furnaces for thermo chemical heat treatment service business are stated.

Estimate for the development of structural and tool steels, thermo chemical surface heat treatment processes and furnaces in the near future.

Indledning

Ved specificering af komponenter og værktøjer fremstillet i stål er der ofte specifikke krav til en eller flere af følgende parametre:

- Overfladens mikrostruktur, hårdhed, ruhed, friktion og coating
- Hårdhedsprofilkurven fra overfladen og et stykke ind mod materialets kerne
- Udmattelsesstyrke
- Kernehårdhed

For konstruktøren, der fastlægger den endelige kombination af design, materialevalg, bearbejdnings- og varmebehandlingsforløb er det nyttigt, at have et overblik vedrørende termokemisk overfladebehandling med de muligheder og begrænsninger de enkelte processtyper byder på for udvalgte stål kvaliteter.

I det følgende vil der blive fokuseret på de almindeligst forekommende termokemiske processer:

- Indsætning, hærkning og anløbning
- Karbonitrering og anløbning
- Gasnitring
- Gasnitrokarburering
- Tenifering, QP, QPQ

Indsætnings- og karbonitreringsprocesserne er højtemperaturprocesser, der foregår i austenitfase med efterfølgende hurtig afkøling og anløbning. Grundet faseomdannelser og store temperaturgradienter under processerne er form- og målændringer et forhold der må fokuseres særligt på, især for større emner med kompliceret geometri. Gasnitring, gasnitrokarburering og tenifering er alle lavtemperaturprocesser, der udføres med små temperaturgradienter, hvilket betyder god form- og målstabilitet for langt de fleste emnegeometrier.

Procesparametre og praktisk opnåelige dybder og overfladehårdheder

Indsætning, hærkning og anløbning

Kulstofindsætning udføres i Danmark på servicebasis i overvejende grad fra beskyttelsesgasanlæg med olieafkøling og kun i ringe omfang fra saltbadsanlæg med termalbadskøling i salt.

Velegnede stål kvaliteter er legerede indsætningsstål, hvor den foretrukne kvalitet fastlægges på grundlag af krav til styrke og sejhed af kernematerialet.

Indsætningstemperaturen vil oftest være fra ca. 860 - 950 °C, hvor de laveste temperaturer kun anvendes til indsætningsdybder < 0,5 mm.

Ovnatmosfæren er en blanding af bæregas og opkullende gas.

Kulstofpotentialet C_p fra ca. 0,8 – 1,2 %.

Indsætningsdybder fra ca. 0,3 – 3 mm.

Opnåelig overfladehårdhed efter anløbning ca. HRC 60 – 62.

Karbonitrering og anløbning

Ulegerede stål der indsættes skal køles i saltvand for at opnå fuld hårdhed i indsætningslaget, hvilket tidligere praktiseredes fra saltbadsanlæg.

Gennem samtidig inddiffundering af kulstof og kvælstof i stål (karbonitrering) opnås en større hærdbarhed af især ulegerede stål, således at disse kan olieafkøles.

Velegnede stål kvaliteter er ulegerede og lavtlegerede konstruktionsstål, der er silicium beroliget.

Karbonitreringstemperaturen vil oftest være fra ca. 860 - 950 °C, hvor de laveste temperaturer kun anvendes til karbonitreringsdybder < 0,3 mm.

Ovnatmosfæren er en blanding af bæregas, opkullende gas og ammoniak.

Kulstofpotentialet C_p ca. 0,9 %.

Ammoniak fra 2 – 10 %.

Indsætningsdybder fra ca. 0,1 – 0,5 mm.

Opnåelig overfladehårdhed efter anløbning ca. HV 760 ± 40.

Karbonitrering er velegnet til især mindre emner, hvor der ønskes et hårdt og slidfast overfladelag med en dybde på højst 0,5 mm og ringe krav til styrken af kernematerialet.

Gasnitring

Gasnitring udføres oftest ved ca. 520 °C i en atmosfære af krakket ammoniak med en styret dissociationsgrad afhængig af materialekvalitet og ønsket forbindelseszone og hårdhedsprofilkurve.

Velegnet til gasnitring er de sejhårde nitrerstål, sejhårde konstruktionsstål, visse legerede og ulegerede indsætningsstål, SG-jern samt hærdede og højtemperaturanløbne værktøjsstål.

Den lave procestemperatur betyder, at emner der er afspændingsglødet ved ca. 600 °C efter skrubbearbejdning eller anløbet ved ca. 600 °C efter hærkning kun får små mål- og formændringer ved gasnitring.

Gasnitrerede emner vil ofte blive efterbearbejdet ved drejeoperationer, slibning og/eller polering.

Den opnåelige overfladehårdhed og nitrerdybde er stærkt afhængig af materialekvaliteten og forbehandlingen. Data for flere materialekvaliteter er givet i DMS Vintermødebogen fra 1995 p72-78.

Nitrerstålene og de sejhårde konstruktionsstål spænder i overfladehårdhed fra ca. 550 – 1100 HV alt efter stålqualität og forbehandling. Den opnåelige dybde ved en 60 timers gasnitring er ca. 0,5 mm med en grænsehårdhed på 400 HV.

En ofte overset gruppe af materialer til gasnitring er ulegerede eller lavtlegerede kvaliteter som f.eks. st. 52.3 og W. nr. 1.7131. Disse kvaliteter kan ved gasnitring opnå overfladehårdheder på 550 - 650 HV og dybder på 400HV = 0,6-0,7 mm ved 60 timers gasnitring.

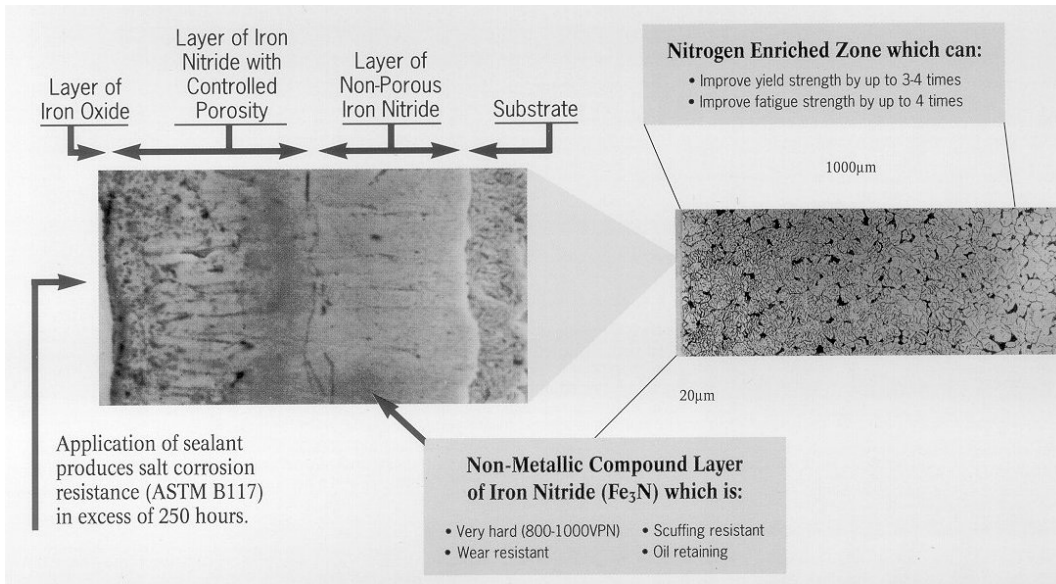
Gasnitring af SG-jern kan især for store godsdimensioner være at foretrække frem for andre nitrerprocesser på grund af den lavere procestemperatur og dermed mindre form- og målændringer.

Hærdede og højtanløbne værktøjsstål som W. nr. 1.2344 og 1.2379 opnår overfladehårdheder på 1100 - 1200 HV og dybder på ca. 0,25 mm ved 30 timers gasnitring.

Gasnitrokarburering

Gasnitrokarburering er en samtidig inddiffusion af kulstof og kvælstof ved ca. 580 °C. Ovnatmosfæren er en blanding af bæregas, opkullende gas og krakket ammoniak. Procestiden er oftes mellem 2 og 4 timer.

I figur 1 er vist et snit gennem et nitrokarbureret overfladelag.



Figur 1. Snit gennem et nitrokarbureret overfladelag af ulegeret konstruktionsstål.

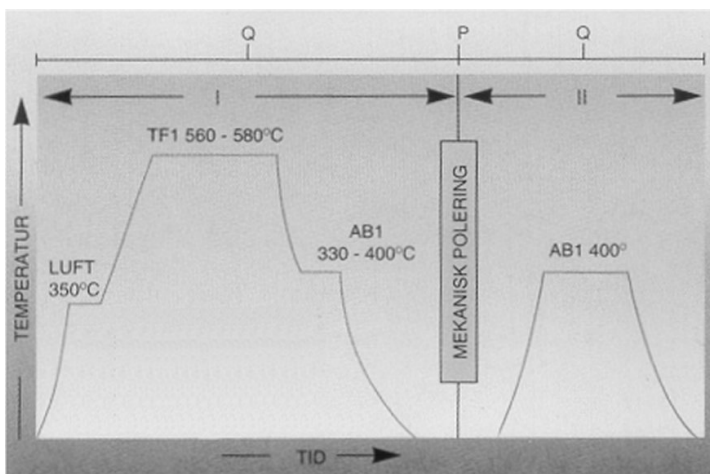
Processen er velegnet til at skabe et tyndt slidbestandigt overfladelag på ulegerede og lavtlegerede konstruktionsstål samt gråt støbejern og SG-jern.

I modsætning til gasnitreringsprocessen, hvor man typisk foretager efterbearbejdning, hvorved forbindelseszonen fjernes, så må nitrokarburerede emner ikke efterbearbejdes, da det slidfaste overfladelag udgøres af forbindelseszonen på fra ca. 5 – 20 µm afhængig af materialekvalitet og procestid.

Processen kan afsluttes med en styret oxidering, hvorved emnernes korrosionsbestandighed øges.

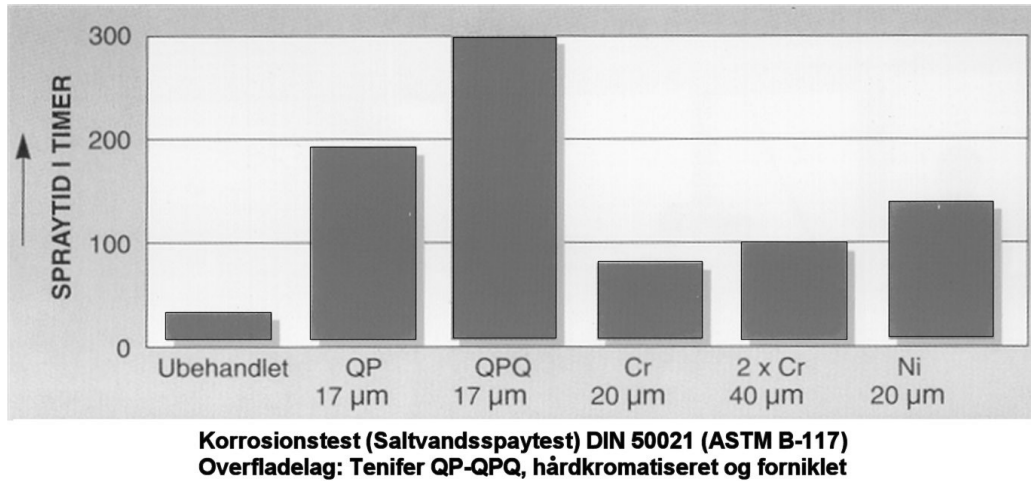
Tenifering, QP og QPQ. Nitrokarburering i saltbad

Tenifering, QP og QPQ er saltbadsprocesser, der udføres i et cyanid/cyanat holdigt saltbad ved ca. 580 °C med procestider fra få minutter til 3 timer. Procesforløbet er vist i figur 2.



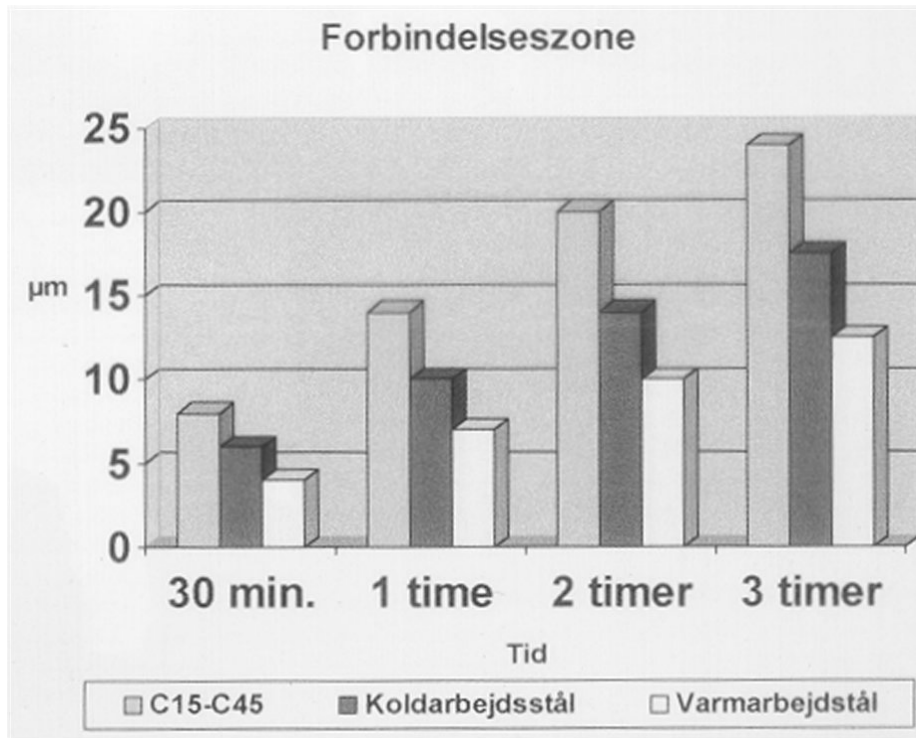
Figur 2. Procesforløbet for tenifering, QP, QPQ.

Vælges der to behandlinger i det oxiderende AB 1 bad med mellemliggende mekanisk polering, som skitseret på figur 2, opnås en forbedret korrosionsbestandighed, se figur 3.



Figur 3.

Tykkelsen af forbindelseszone, som funktion af tiden og stålqualität er vist i figur 4.



Figur 4.

De væsentligste forskelle mellem gasnitrokarburering og tenifering er saltbadets store fleksibilitet og større redoxpotential, der gør det muligt at tenifere rustfaste stål, som får

en overfladehårdhed på ca. 1200 HV. Man skal være opmærksom på, at de rustfaste stål herved mister deres sædvanlige korrosionsbestandighed. På grund af den betydelige manuelle håndtering vil tenifering af masse gods ofte være mere omkostningskrævende end tilsvarende gasnitrokarburering.

Typiske anvendelsesområder for procestyperne med eksempler på materialevalg og processpecifikation

Indsætning, hærkning og anløbning

Anvendes til hårdt belastede sliddele som f.eks. tandhjul, rulleskaller, små aksler og låse.

Typiske anvendte stålqualiteter er W. nr. 1.5919, 1.6587, 1.7131, 1.7139, 1.7147 og 1.7149.

Eksempel på processpecifikation:

- Indsætning, hærkning og anløbning af W. nr. 1.6587
- IHD = $0,9 \pm 0,15$ mm
- Overfladehårdhed = HRC 61 ± 1
- Overfladeoxidation i korngrænserne ≤ 10 μm .

Karbonitrering og anløbning

Anvendes til medium belastede sliddele som f.eks. beslag, lukke og låseanordninger til biler og andre maskiner, små tandhjul, små aksler og låse.

Typiske anvendte stålqualiteter er st. 52.3 , dybtræksplade og st.37.

Eksempel på processpecifikation:

- Karbonitrering, dybkøling og anløbning af dybtræksplade.
- IHD = $0,35 \pm 0,10$ mm
- Overfladehårdhed HV 10 = 760 ± 40

Gasnitring

Gasnitring har en meget bred anvendelse til hårdt og medium belastede sliddele og værktøjer, som f.eks. tandhjul, betonformkasser, brændstofpumper, kompressor rotor, ekstruderingsværktøjer, trykstøbeforme til aluminium og plast.

Anvendte stålqualiteter er sejhårde konstruktions- og nitrerstål. Ulegerede og lavtlegerede konstruktionsstål. Hærdede og højtaneløbne værktøjsstål. SG-jern.

Eksempel på processpecifikation:

- Gasnitrering. Impax Supreme. Afspændingsglødet 580 °C
- Forbindelseszone max. 10 µm
- NHD = 0,45 ± 0,05 mm
- Overfladehårdhed HV 10 = 720 ± 40

Nitrokarburering. Gasnitrokarburering samt tenifering, QP og QPQ

Disse processer er karakteriseret ved, at der ikke kan foretages egentlig efterbearbejdning, idet det slidfaste lag udgøres af forbindelseszonen, der har en tykkelse på indtil ca. 20 µm afhængig af materialekvalitet og procestid. I specielle tilfælde anvendes let diamant polering af værktøjsdele. Under forbindelseszonen vil der for ulegerede, lavt legerede og sejhårde konstruktionsstål være en diffusionszone på fra nogle få tiendedele til ca. 1 mm, hvor hårdheden aftager mod kernehårdheden, se figur 1. For højtlegerede værktøjsstål og rustfaste stål der teniferes vil der være en brat overgang fra det hårde overfladelag til kernematerialets hårdhed.

Nitrokarburering anvendes til slidpåvirkede emner, hvor overfladebelastningen er så moderat, at der ikke introduceres revner i den tynde hårde forbindelseszone på grund af plastisk deformation af det underliggende basismateriale.

Eksempler på stålqualiteter til gasnitrokarburering er ulegerede og lavtlegerede konstruktionsstål. SG-jern og gråt støbejern.

Eksempel på processpecifikation:

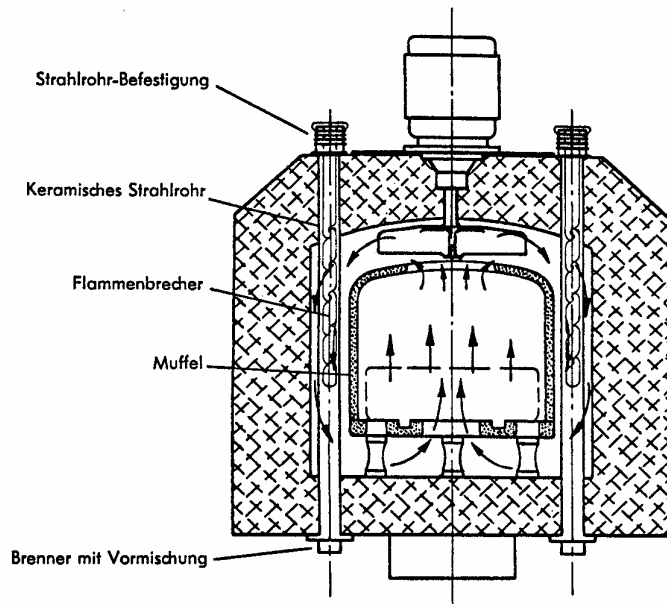
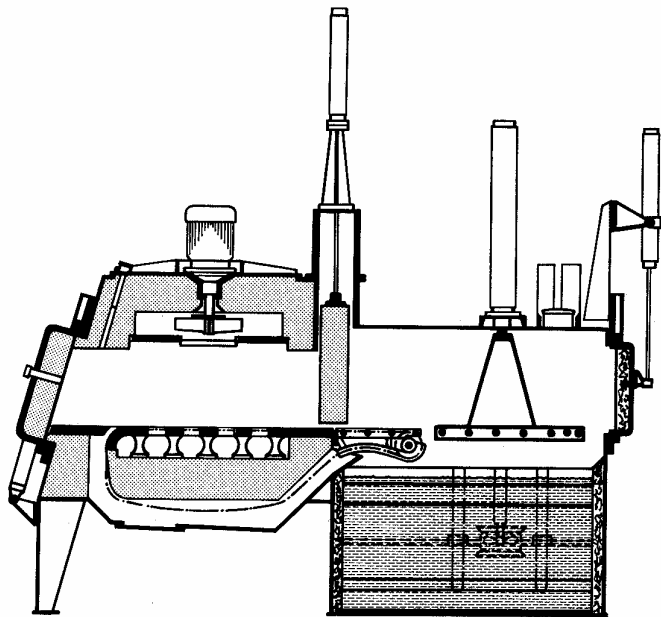
- Gasnitrokarburering . SG- jern SS 0727-02. Hårdhed 210-240 HB.
- Forbindelseszone 10 - 15 µm
- Overfladehårdhed HV 1 ≥ 400

Ud over de stålqualiteter, der er nævnt til gasnitrokarburering, kan Tenifering, QP og QPQ processerne også anvendes til rustfaste stål og hærdede værktøjsstål, der er højtaneløbet.

De termokemiske varmebehandlingsprocesser udføres i mange forskellige ovntyper, hvoraf kun et par unikke skal omtales her

Langt størstedelen af de emner danske servicehærdier henholdsvis indsætningshærdere og karbonitrerer udføres i lukkede kammerovne med oliekoeling som en integreret del. I figur 5 er vist snit gennem en sådan ovn. Denne ovntype er velafprøvet, idet der gennem de seneste ca. 40 år kun er sket mindre designændringer, selv om der er sket

væsentlige levetidsforbedringer ligesom styresystemerne løbende er ændret i takt med udviklingen på elektronikområdet.



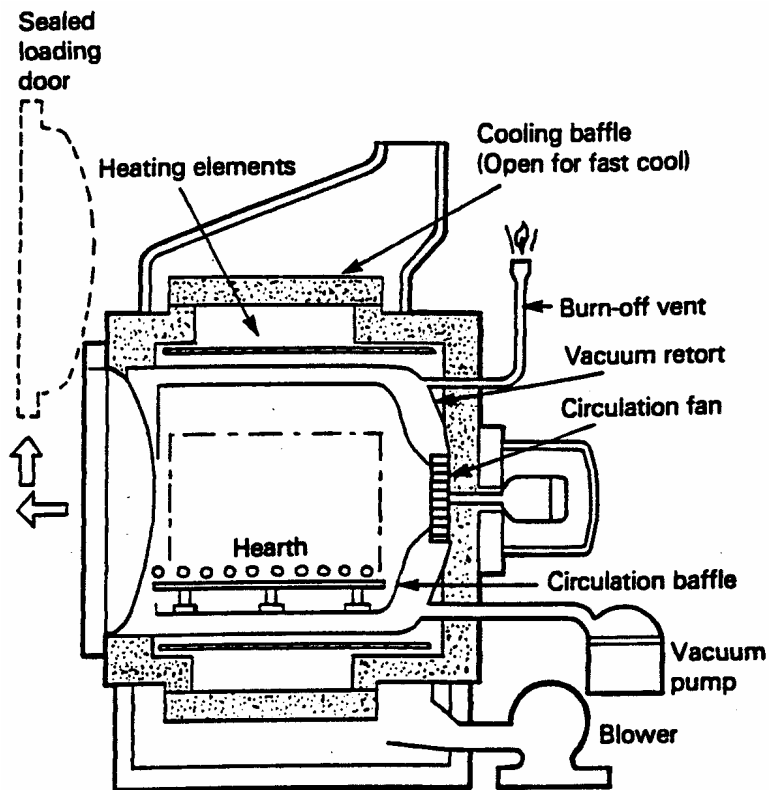
Figur 5. Længde- og tværsnit gennem enkammer muffelovn med integreret olieøling.

Denne ovntypes største skavanker er et relativt stort energiforbrug samt det forhold, at ovnen helst kontinuert skal holdes på høj temperatur for at minimere vedligeholdelsesomkostningerne.

Ovnene er fleksible ved omstilling mellem neutralhærdning, indsætning og karbonitrering.

Gasnitring og gasnitrokarburering udføres bedst i vakuumretortovne, hvor retorten kan tvangskøles med luft på ydersiden. Denne ovntype er karakteriseret ved at være yderst robust og med små vedligeholdelsesomkostninger. Procesreproducerbarheden er god, og korrekt isoleret er ovnen meget energiøkonomisk. En vakuumretortovn er velegnet til styret for og efteroxidering.

I figur 6 er en principskitse af en horisontal vakuumretortovn, hvor retorten kan tvangskøles. De fleste vakuumretortovne er vertikaloovne, der udmærker sig ved at kræve ringe gulvplads og være lette at chargere effektivt med emner af forskellig geometri.



Figur 6. Principskitse af en horisontal vakuumretortovn.

Retortovne er også velegnede til gasindsætning, men hærkning i olie eller vand med organiske tilsætningsstoffer er miljømæssigt et problem samtidig med at emnerne overfladeoxideres.

En vurdering af materiale-, proces- og anlægsudviklingen de kommende år

Den materialeteknologiske udvikling med fremstilling af stadig mere homogene konstruktions- og værktøjsstål med forbedrede specifikke egenskaber vil fortsætte samtidig med, at der udvikles nye fremstillingsmetoder og sættes på nye

materialekvaliteter til specifikke anvendelser. Der vil komme endnu flere materialekvaliteter, hvor der gennem styret slaggeindhold og slaggefordeling opnås forbedrede bearbejdningsegenskaber, hvilket er efterspurgt især til de automatiske bearbejdningsmaskiner. Konstruktørerne skal her være opmærksomme på at disse kvaliteter kan være uegnede til polering og især elektroplering.

De her omtalte termokemiske processer har i flere år været præget af kun små forbedringer og der er ikke umiddelbart udsigt til væsentlige ændringer på området.

Det må forventes, at lavtemperaturprocesserne med kvælstof og/eller kulstof til overfladehærdning af rustfaste stål under bibeholdelse af korrosionsegenskaberne bliver udført på et eller flere af servicehærderierne i Danmark i den nærmeste fremtid. Anlægstypen vil være vakuumretortovne. Der vil være et betydeligt marked i flere industrigrene.

De seneste ca. 30 år har der været udviklet vakuumanlæg til indsætning, hærdning og anløbning. Anlæggene har især været anvendt af flyfabrikkerne til gearremner, men servicehærderierne betragter stadig vakuumindsætning som både dyrt, kompliceret og uprøvet, hvilket skal ses i forhold til den ca. 50 år gamle teknologi med beskyttelsesgasovne.

Et forsigtigt gæt vil være, at bilindustrien inden for de næste 10 år vil installere vakuumindsætningsovne. Herefter vil servicehærderierne starte med at investere i tilsvarende anlæg.

For vakuumindsætningsovne er det let at få øje på en række produkt-, produktions- og miljøfordele, der stort set er de samme som da servicehærderierne for ca. 30 år siden startede konverteringen fra saltbadshærdning til vakuumhærdning af værktøjsstål. Denne omstillingsproces tog ca. 20 år.

Det eneste der skønnes at kunne fremskynde investeringerne i vakuumindsætningsovne er strengere miljøkrav og højere energipriser.

