

## Duurzaamheid in de warmtebehandelingen: een overzicht van de mogelijkheden

**i** VWT  
 ir. Bernard Vandewiele, Erevoorzitter VWT,  
 Manager-eigenaar BVDW Consultancy VOF

### ALGEMEEN

Omdat warmtebehandelingsprocessen, met de zeer grote verscheidenheid, doorgaans energie-intensief zijn, zijn duurzaamheidsinspanningen gericht op het verminderen van energieverbruik, emissies en afval, met minstens het behoud of verbetering van de productkwaliteit en voor zoverre ze economisch haalbaar zijn. Met name deze twee laatste aspecten zijn uitermate belangrijk om juiste beslissingen te kunnen nemen.

### SPECIFIEKE PLAATS VAN WARMTEBEHANDELING IN DE PRODUCTIEKETTING

De warmtebehandelingen zijn het middel bij uitstek om aan de materialen de gewenste microstructuren en eigenschappen te geven. Hierdoor kunnen verwerkingsprocessen optimaal verlopen met de geringste kosten en uitval. De eindcomponenten krijgen ook de gewenste sterke- en andere functionele eigenschappen ( weerstand tegen slijtage, vermoeiing, kruip,..) zodat de gewenste levensduur bereikt of zelfs verbeterd kan worden.

Beide zaken, optimale verwerking en hogere functionaliteit tijdens gebruik, door een correcte warmtebehandeling vormen

mogelijks reeds de grootste bijdrage aan de duurzaamheid.

De warmtebehandeling is dus een belangrijke en onmisbare schakel in de ganse productieketen.

Gezien de grote verscheidenheid aan materialen en applicaties is het domein bijzonder ruim en bestaan er een veel warmtebehandelingsprocessen en die in veel gevallen niet uitwisselbaar zijn.

Men kan een warmtebehandelingsproces schematisch voorstellen in een procesdiagram in fig. 1.

De eigen procesparameters P zijn goed gekend en meetbaar met behulp van passende sensoren en uiteindelijk vormen de basis voor de "natuurlijke proces variatie  $VAR_{parameters}$ ". Deze is meestal veel kleiner dan de variatie die men heeft op de behandelde stukken  $VAR_{input}$ . De variatie op de output  $VAR_{output}$  is afhankelijk van de input, de parameters en de vele interacties. Het gemiddelde eindresultaat is de resultante van de actie van de procesparameters op de input en de variatie op het resultaat (spreiding) is het resultaat van alle variatie op de input en op de procesparameters en is gegeven door de volgende vergelijking. De grootste VAR is het meest bepalende, nl.  $VAR_{input}$ .

De input is dus zeer belangrijk en bestaat uit:

- Het basismateriaal: chemische samenstelling, hardbaarheid, microstructuur, hardheid, zuiverheid, segregaties uit de vorige vervormingsstappen;
- Geometrie: massiviteit, geometrische vorm, sectieveranderingen soms met scherpe radius, ruwheid;
- Een voorgeschiedenis: elaboratieproces, vormgevingsproces, thermische geschiedenis tijdens de diverse stappen, bewerkingsstappen, residuele inwendige spanningen;
- Oppervlaktevervuiling voor de warmtebehandeling: bewerkingsvloeistoffen, residuen van beschermende lagen of smeermiddelen.

Aan de output zijde zijn de toleranties een belangrijke factor.

Gezien de warmtebehandeling de laatste stap is voor de finishing operaties komen de eventuele negatieve effecten juist dan naar voor: maatverandering en vervorming, scheuren, tolerantie over- of onderschrijding. In veel gevallen wordt de warmtebehandelaar als eerste schuldige aangegeven wat in veel gevallen onterecht is.

Uit eigen ervaring en uit de vele publicaties en presentaties blijkt dat impact op de bovengenoemde afwijkingen toewijsbaar zijn voor 5 – 15 % aan de warmtebehandeling, voor 20 – 30 % aan het basismateriaal en de rest, meer dan 50% aan de design (geometrische vorm) in ruime zin of aan te enge toleranties gerelateerd aan de functionaliteit.

Een open en eerlijke samenwerking tussen alle betrokken partijen is nodig: de constructeur, de materiaalleverancier, de bewerkingsprocesingenieur en uiteraard de warmtebehandelaar. Zo worden problemen maximaal voorkomen en is het verlies aan kostbare tijd, energie en producten minimaal. Dit is heel belangrijk vanuit het duurzaamheidsperspectief.

$$VAR_{sortie} = \sqrt{VAR_{input}^2 + VAR_{parameters}^2}$$

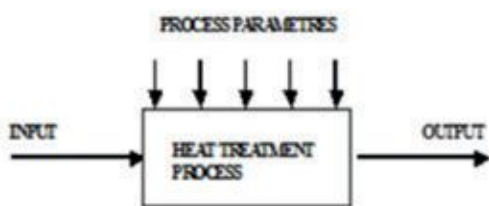


Fig. 1 : general process diagram

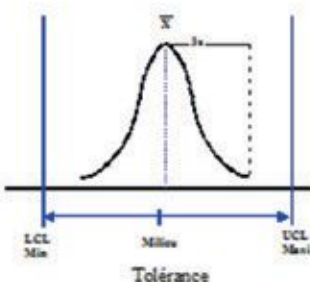


Fig. 2 : base for capability.

## BELANGRIJKSTE THEMA'S GERELATEERD AAN DUURZAAMHEID

Warmtebehandelingen hebben een eerder lokaal karakter en gezien de diverse parameters erg kunnen verschillen tussen verschillende plaatsen, regio's en landen is het duidelijk dat er geen eenduidige universele oplossingen bestaan. Zeer belangrijk zijn de industriële tarieven voor energie, de beschikbaarheid op korte en middellange termijn.

Het is een feit dat de uitwisselbaarheid tussen verschillende warmtebehandelingen maar in beperkte mate mogelijk is en sterk verbonden is aan de materiaalkeuze en de te realiseren vereisten of eigenschappen, zeker als men geen toegift wil doen aan de kwaliteit. Het ontwerpproces is bepalend. Er is ook een groot onderscheid te maken tussen mogelijkheden op bestaande installaties of bij nieuwe projecten en installaties.

### Een aantal mogelijke thema's worden kort besproken.

#### I. Energie-efficiëntie:

##### • Efficiënt oven design:

Door het gebruik van hoog rendementen recuperatie branders, betere isolatiematerialen en recuperatie van verloren warmte zijn besparing op het brandstofverbruik van 10 – 30% mogelijk. Bovendien zijn moderne branders vaak geschikt om voor verschillende brandstoffen. Het gebruik van thermografie kan duidelijk maken waar de grootste warmteverliezen voorkomen en waar met een gericht inspanning het grootste effect bereikt kan worden.

##### • Inductie- en vacuümovens:

Electrische inductieverwarming en vacuümovens kunnen een hogere thermische efficiëntie brengen met bovendien meer zuivere oppervlakken dan bij gasgestookte systemen. Elk geval dient afzonderlijk op zijn toepasbaarheid beoordeeld te worden.

##### • Procesoptimalisatie:

Met behulp van simulatie, gebruik van doorgedreven procescontrole eventueel met AI en een veel nauwkeurigere temperatuur- en atmosfereregeling kan men onnuttige en dus verloren behandelingsstijden vermijden. Uiteraard is dit

sterk gekoppeld aan de aard van de warmtebehandeling en de te behandelen materialen.

#### 2. Vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot:

- **Integratie van hernieuwbare energie:** Het gebruik van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (zon, wind) voor elektrische ovens verkleint de CO<sub>2</sub>-voetafdruk aanzienlijk.

- **Alternatieve brandstoffen:**

Het vervangen van fossiele brandstoffen door waterstof of biogas kan warmtebehandeling sterk in de richting CO<sub>2</sub>-neutraliteit duwen. Veel moderne branders zijn hierop reeds voorzien. Belangrijk is de beschikbaarheid en de prijs van deze alternatieven.

- **Koolstofopvang en hergebruik:**

Geavanceerde installaties onderzoeken de mogelijkheid om CO<sub>2</sub> uit verbrandingsgassen af te vangen voor hergebruik of opslag. Dit zijn zaken die enkel mogelijk zijn bij de zeer grote bedrijven en dan nog moet de haalbaarheid en het economisch aspect grondig onderzocht worden. Dit gaat zeker niet op voor wat we traditioneel als warmtebehandeling verstaan.

#### 3. Terugwinnen van restwarmte:

- **Recuperatie en regeneratie:**

Deze vangen restwarmte uit rookgassen op om te hergebruiken als verbrandingslucht of om grondstoffen of water voor te verwarmen. Het eerste is standaardtechniek in alle hoog rendement branders voor het tweede is belangrijk dat de vraag naar warmte over het ganse jaar blijft zoals voor het verwarmen van wasbaden.

- **Warmte-naar-stroomsystemen:**

Deze zetten restwarmte om in elektriciteit via thermo-elektrische generatoren of Organische RankineCyclus (ORC). Uiteraard is dit terug enkel van toepassing bij de zeer grote bedrijven en dan nog dient men het grondig te evalueren op inzetbaarheid.

#### 4. Materiaal- en grondstoffenefficiëntie:

- **Geoptimaliseerde afschrikmiddelen:**

Gebruik van milieuvriendelijke afschrikmiddelen (zoals plantaardige gebaseerde oliën of water-polymeër afschrikmiddelen) in plaats van giftige of niet-biologisch afbreekbare oliën.

- **Minder afval en herbewerking:**

Betere controle en monitoring verminderen vervorming, scheuren en afgekeurde onderdelen, waardoor materiaalverspilling wordt geminimaliseerd. Dit is echter zeer sterk gekoppeld aan de andere factoren en betrokkenen zoals beschreven in het begin van dit artikel.

- **Recyclingatmosferen:**

Hergebruik van duurder gassen via zuiveringssystemen zoals de recuperatie van helium bij het hogedruk gas-afschrikken in helium.

#### 5. Circulaire economie en levenscyclus denken:

- **Langere productlevensduur:**

Oppervlaktehardingsprocessen verhogen de slijtage bestendigheid en ook de levensduur van de producten. Uiteraard leidt dit tot minder verlies aan materiaal door vroegtijdige uitval. Elke optimalisatie geeft direct een positief effect. Nogmaals, het is een gedeelde inspanning van alle betrokken partijen.

- **Recycling en revisie:**

Duurzame warmtebehandelingen zijn ook belangrijk in het revisie traject van versleten onderdelen voor hergebruik veel eerder dan het vervangen door nieuwe. Uiteraard is dit ook sterk van de intrinsieke waarde van het onderdeel en de applicatie waarin het onderdeel hoort te functioneren.

- **Levenscyclusanalyse (LCA):**

Met behulp van deze analyse kwantificeert men de milieu-impact van grondstof tot eindproduct en dit levert een bijdrage tot duurzamere proceskeuzes. Dit is ook zo voor de warmtebehandeling zowel direct op de processen zelf, zoals reeds eerder aangegeven, als indirect door de impact op de totale product realisatie keuze.

#### 6. Digitalisering en slimme besturing

- **Monitoring met IoT (Internet of Things) en AI (Artificial Intelligence):**

Door het gebruik van sensoren en een real-time gegevens verwerking kan men optimalisatie van de cyclussen en het energieverbruik bereiken. De mogelijkheden van AI, door meer onderlinge verbanden te evalueren, zal in de toekomst de performance aanzienlijk verbeteren. Het is belangrijk dat het nog steeds de mensen zijn die finaal

de beslissingen nemen. Daarom is het noodzakelijk om over goed getrainde en ervaren mensen te beschikken, dit is de Human Intelligence(HI)

- **Voorspellend onderhoud (predictive maintenance):**

Met behulp van de inzet van diverse meetsensoren en doorgedreven analyses kan men het nodige onderhoud voorspellen en tijdig uitvoeren. Hierdoor worden ongeplande stilstanden voorkomen en wordt het onderhoud efficiënter.

- **Simulatie en modellering:**

De sterke vooruitgang op dit vlak en vooral de betrouwbaarheid vermindert de noodzaak van fysieke testen waardoor energie en hulpbronnen worden gespaard.

## BELANG VAN DE HI -FACTOR (HUMAN INTELLIGENCE)

Uit het voorgaande is duidelijk dat, naast alle technische vooruitgang en meer inzet van AI, er een grote nood is en blijft aan mensen met een voldoende kennis en ervaring van de warmtebehandelingen en de relaties met de opgesomde input en output factoren.

De noodzaak aan een voldoende kennis is niet enkel nodig voor de personen direct betrokken bij de warmtebehandeling zelf maar ook in belangrijke mate bij de ontwerpers, de materiaalleveranciers, de

methode-ingenieurs van de voorbereidingen en de technische inkoopers.

Door hen te betrekken tijdens de ontwerpfasen en met de inbreng van ieders kennis en ervaring komt men tot de meest optimale oplossing voor het ontwerp en het functioneren ervan tijdens het gebruik. Aanpassingen tijdens de ontwerpfasen kosten bijna niets terwijl aanpassingen na de kwalificatie vaak zeer duur en soms nagenoeg onmogelijk zijn.

Het is jammer om te moeten vast stellen dat in veel gevallen het management de noodzaak van de HI-actor (Human Intelligence) onderschat en er onvoldoende aandacht en middelen aan spendeert.

Gelukkig zijn er in veel landen een aantal vakverenigingen, zoals VOM en VWT bij ons, die de leemte gedeeltelijk kunnen opvullen. Bovendien bieden deze vakverenigingen een ideaal platform voor het uitbouwen van een goed netwerk.

Het is dan ook de taak van de VWT (Vereniging voor WarmtebehandelingsTechniek) om hieraan een sterke bijdrage te leveren tijdens de bijeenkomsten, congressen en ook met de VWT-cursus "Warmtebehandeling van Metalen". Een nieuwe cursus vindt plaats op 21-23 april 2026 in Hotel Van der Valk Eindhoven.

## SAMENVATTEND

De warmtebehandeling is een belangrijke en onmisbare schakel in de productieketen.

De warmtebehandelingen zijn het middel bij uitstek om aan de materialen de gewenste microstructuren en eigenschappen te geven zodat ze hun functie kunnen vervullen op een duurzame wijze.

Het is belangrijk dat reeds tijdens het ontwerpproces er voldoende samenwerking is met alle betrokken partijen om tot komen tot duurzame processen omdat door de gemaakte keuzes zowel het materiaal als de warmtebehandelingsprocessen vastgelegd worden (**Design for Sustainability**).

Ook het hergebruik van componenten is een belangrijk aspect. (**Re-manufacturing**)

De accenten op duurzaamheid voor de warmtebehandelingsprocessen zijn energiezuinigheid, verlaging van de emissies bij reactieve atmosferen, gebruik van doorgedreven intelligente processturingen, reductie van de warmteverliezen met eventueel recuperatie van verlieswarmte en vermijden van afval en activiteiten zonder toegevoegde waarde (**Lean manufacturing**). Uiteraard dient alles ook economisch verantwoord te zijn. Door de grote verscheidenheid aan warmtebehandelingsprocessen en de grote verschillen tussen plaatselijke regelgevingen zijn er geen algemeen toepasbare oplossingen.

Het belangrijk dat er ook voldoende geïnvesteerd wordt in HI (**Human Intelligence**) en in netwerking.



The advertisement features a dark background with a green banner at the top right containing the text 'VWT-CURSUS'. Below this, the title 'WARMTEBEHANDELING VAN METALEN' is written in large, bold, white letters. A red box contains the dates '21 T/M 23 APRIL 2026' and the location 'VAN DER VALK HOTEL EINDHOVEN'. Below the red box, it says '3 dagen: 8.00 tot ca. 17.30 uur' with a clock icon. At the bottom right, there is a green button for 'Aanmeldingen' and the website 'VWT : www.vwt-online.eu'. On the left side, there are two images: one showing a furnace with glowing metal and another showing a close-up of a metal part being processed. The VWT logo is at the bottom left.