



## Kruipgedrag van metalen

# Sluipend, kruipend

Voordat er kan worden gelast, zal er enige voorkennis moeten zijn van het te lassen basis-materiaal en hoe dit tot stand is gekomen. Materialen worden regelmatig toegepast onder bedrijfscondities van verhoogde temperatuur. Hierbij spelen ook statische krachten een rol. Voorbeelden hiervan zijn rotorbladen in turbines of hoge druk stoomleidingen. Onder constante statische belasting en hoge temperatuur treedt kruip op, een ongewenst verschijnsel.

Als een deformatieproef in een kort tijdbestek plaatsvindt en de temperatuur niet te hoog is, mag de factor tijd buiten beschouwing worden gelaten. Voor testen uitgevoerd op verhoogde temperatuur moet wel rekening worden gehouden met de tijd dat het materiaal wordt belast. Kruip gaat meestal pas een rol spelen bij temperaturen hoger dan  $0,4 \times$  de smelttemperatuur (in graden Kelvin).

Voor het uitvoeren van kruiptesten worden proefstukken met een constante kracht belast, terwijl de temperatuur constant wordt gehouden. De deformatie of rek wordt gemeten als functie van de tijd. De testen kunnen ook worden uitgevoerd bij een constante spanning. Deze proeven geven een beter inzicht in de mechanismen die bij kruip optreden.

Figuur 1 toont een schematische voorstelling van een typisch kruipgedrag van metalen onder een constante kracht. Als de kracht wordt aangebracht, zal het materiaal direct deformereren, voornamelijk elastisch. De kruipcurve kan over het algemeen worden onderverdeeld in drie zones. Elk van deze zones heeft een typisch rek/tijd-patroon.

### Kruipzones

*Primaire kruip:* in deze zone neemt de kruipsnelheid af als functie van de tijd. De helling van de curve neemt af. Dit suggereert dat het materiaal een grotere weerstand tegen kruip verkrijgt en het materiaal verstevigt.

*Secundaire kruip:* in de tweede zone is de kruipsnelheid constant. In de figuur zien we een lineair verband tussen rek en tijd: steady-state kruip. Het constant zijn van de kruipsnelheid wordt verklaard door het gelijktijdig optreden van versteviging en herstel. Tijdens herstel wordt opgeslagen, interne rekenergie door middel van dislocatiebeweging verlaagd.

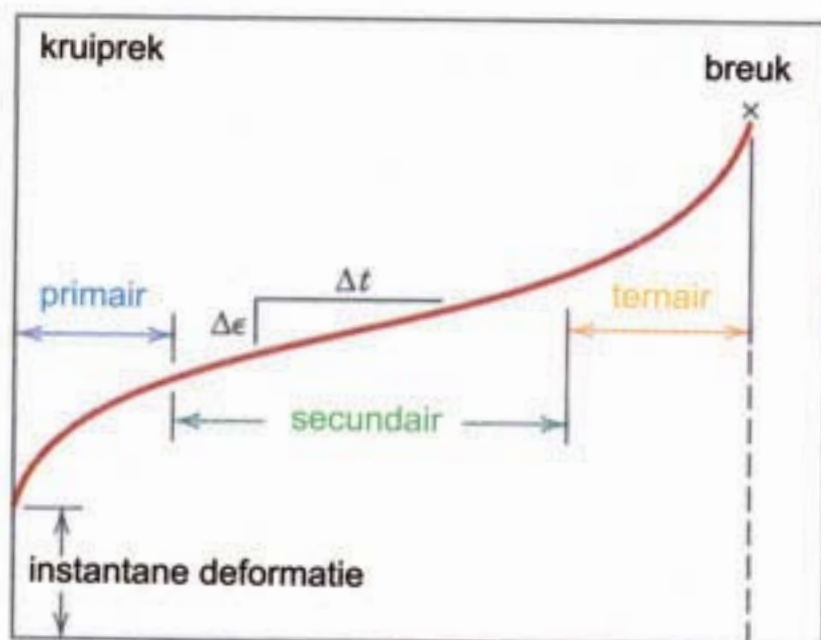
*Ternaire kruip:* in dit gebied neemt de kruipsnelheid toe en zal uiteindelijk breuk optreden. Veranderingen in microstructuur, het ontstaan van interne scheuren en insnoering van het proefstuk leiden tot een afname in de effectieve doorsnede en dus een toename in de kruipsnelheid.

In figuur 2 zijn een aantal kruipcurven weergegeven voor verschillende temperaturen of aangebrachte spanning.

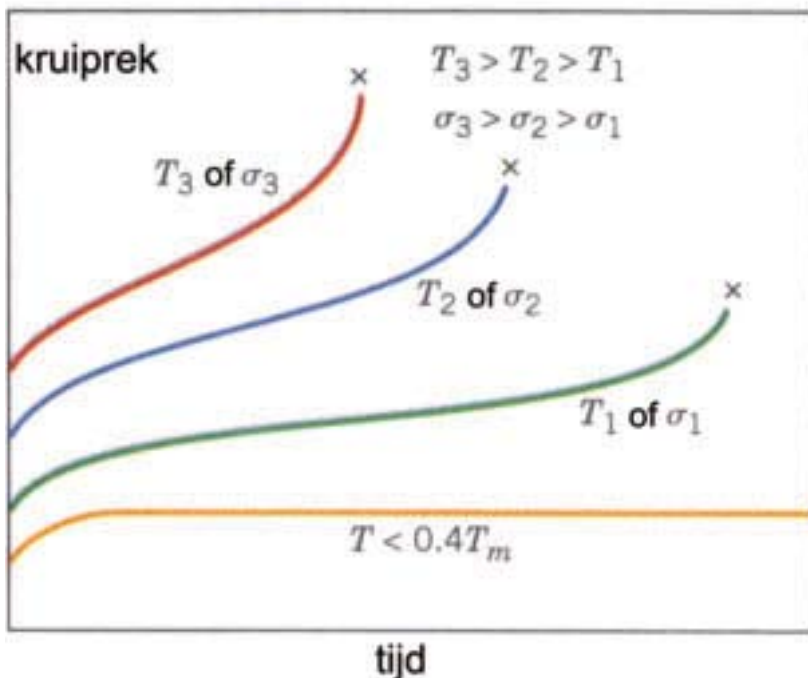
### Kruipsterkte

Bij ontwerpen voor hoge temperatuurtoepassingen is het in eerste plaats van belang de spanning te ken-

Figuur 1 - Kruiprek als functie van tijd [1]



Figuur 2 - Kruiprek als functie van tijd voor verschillende temperaturen of belastingen.  $T_3$  is hierbij de hoogste temperatuur en  $T_1$  de laagste;  $\sigma_3$  is de hoogste spanning en  $\sigma_1$  de laagste spanning [1]



nen die het materiaal bij een bepaalde temperatuur duurzaam kan verdragen. Dit is de kruipsterkte. De kruipsterkte is experimenteel niet te bepalen, omdat zo'n proef oneindig lang zou duren. Daarom worden experimenten bij de gewenste temperatuur opgezet, waarbij verschillende spanningen worden aangebracht. Hiermee kan men de tijd-tot-breuk-sterkte via interpolatie of extrapolatie verkrijgen.

Ook de reksnelheid en de totale rek zijn belangrijke parameters voor het ontwerp. Een ontwerper kan zijn dat de reksnelheid lager dan een bepaalde waarde blijft, of men kan eisen dat de totale rek een bepaalde waarde niet overschrijdt binnen een bepaalde tijd. Zo worden de snelheidskruipgrens en de rekkruipgrens gedefinieerd. Afhankelijk van de gewenste levensduur van de constructie kiest men voor een van de kruipgrenzen. Een empirische relatie is opgesteld voor steady-state kruipsnelheid  $\dot{\epsilon}_s$ :

$$\dot{\epsilon}_s = K_1 \sigma^n \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

$K_1$  en 'n' zijn materiaalconstanten,  $Q_c$  is de activiteitsenergie voor kruip,  $R$  is de gasconstante en  $T$  de temperatuur.

Om het kruipgedrag van materialen te kunnen verklaren, zijn verscheidene mechanismen voorgesteld zoals spanningsgeïnduceerde vacaturediffusie, korrelgrensdiffusie, dislocatiebeweging en korrelgrensglijden. Elk van deze mechanismen leidt tot een andere waarde voor de exponent 'n' in de vergelijking. In overzichten van deformatiemechanismen is in één oogopslag te zien in welk spanning-temperatuur regime bepaalde mechanismen werkzaam zijn voor het specifieke materiaal. Een dergelijk overzicht is weergegeven in figuur 3.

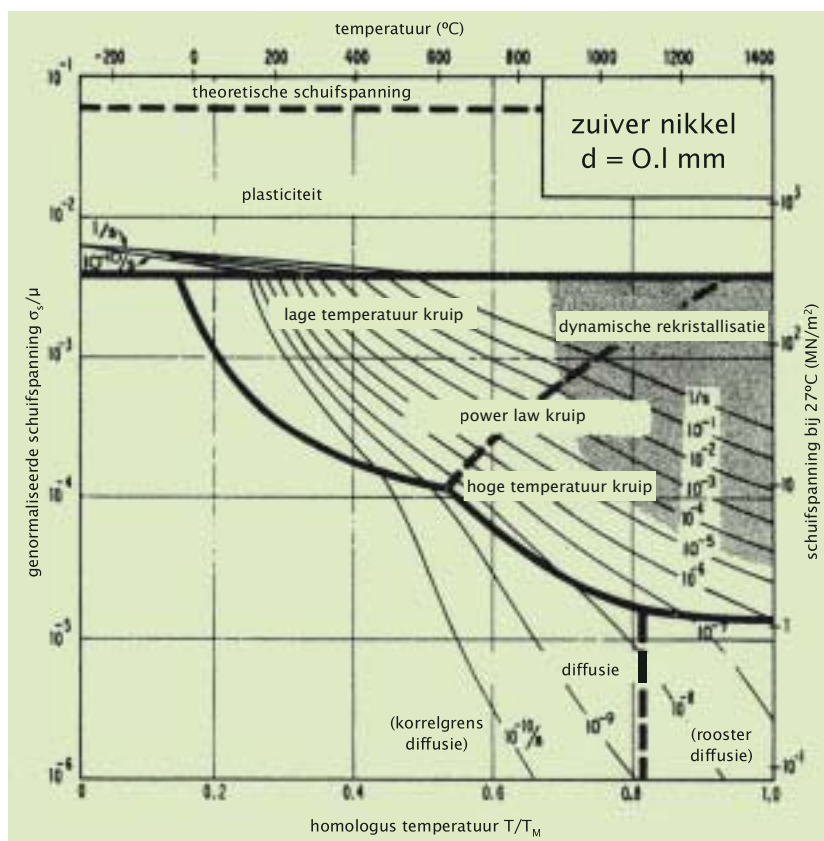
Deze informatie is belangrijk voor het ontwerpen van installaties die op hoge temperatuur worden bedreven. De constructeur gebruikt de kruipgegevens voor de materiaalkeuze en de (rest)levensduurbepaling van een installatie.

### Kruipweerstand

In een van de volgende afleveringen van Materialenkennis voor de Laspraktijk zal uitvoerig worden ingegaan op kruipvaste staalsoorten. Het blijkt dat sterke carbidenvormende elementen (Mo, V, Ti) een groot effect op de kruipsterkte hebben door de fijnverdeelde uitscheidingen [2]. Ook blijkt dat een hoog smeltpunt, een hoge elasticiteitsmodulus en een grote korrel gunstig zijn voor de kruipweerstand. ■

### Literatuur

1. W.D. Callister, Materials science and engineering, an introduction. 7th edition, 2007.
2. G. den Ouden en B.M. Korevaar, Materiaalkunde deel 1, Delftse Uitgevers Maatschappij.
3. H.J. Frost en M.F. Ashy, Deformation-Mechanism Maps. Pergamon Press, 1982.



Dr. ir. Marcel Hermans is docent aan de TU Delft, afdeling Technische Materialwetenschappen, sectie Joining and Mechanical Behaviour.

Figuur 3 - Een spanning-temperatuur map voor zuiver Ni [3]