



# Valurautojen lämpökäsittelyt

SVY opintopäivät 3.2.2017

Kaisu Soivio

moventas | GEARED FOR  
NEW ENERGY

# Moventas lyhyesti



- Moventas on yksi johtavista tuulivoimavaihteiden valmistajista
- Ensimmäinen tuulivoimavaihte toimitettu 1980, asennuskanta yli 15000 kappaletta
- Huoltoliiketoiminta kattaa myös lukuisten muiden merkkien huollot ja teknologiapäivitykset
- Moventas työllistää noin 500, Suomessa 400 henkilöä

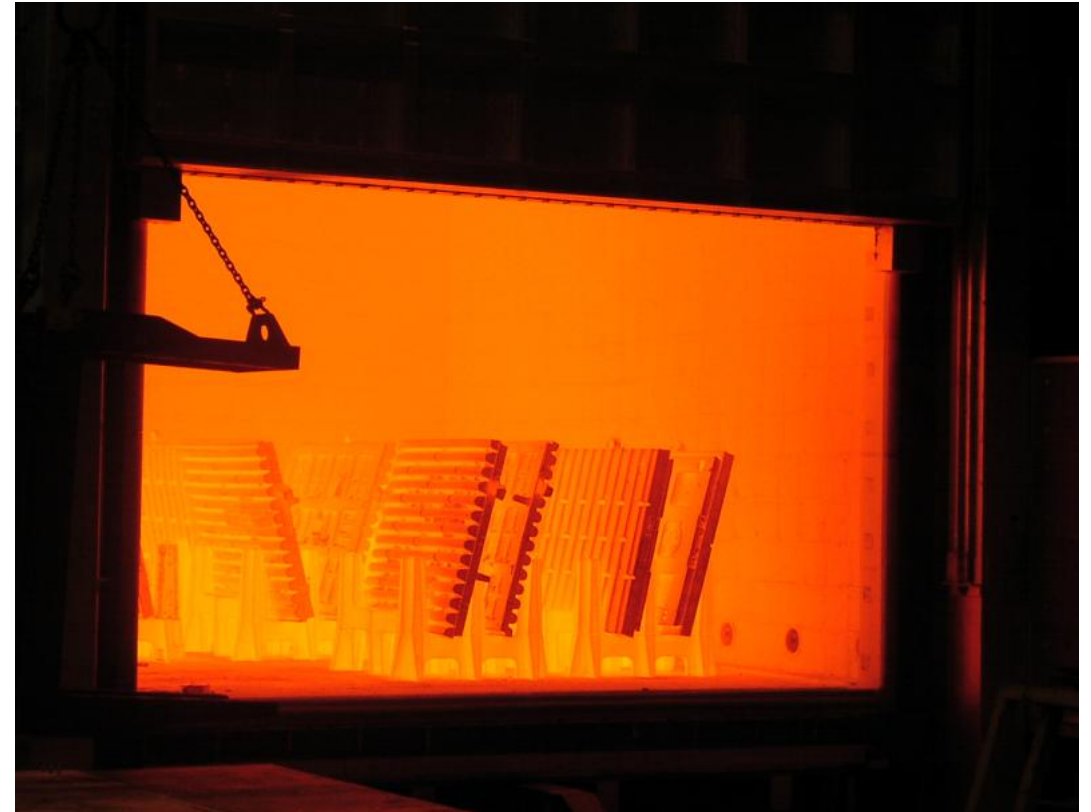




# Lämpökäsittely – mitä ja miksi

- Hallittu lämmitys-pito-jäähdytys-sykli tai syklejä
- Materiaaliominaisuuksien muuttaminen, parantaminen tai tasaaminen
- Jatkokäsiteltävyyden parantaminen
- Muodonmuutosten minimointi
- Asiakas vaatii
- Tuntemattomat syyt

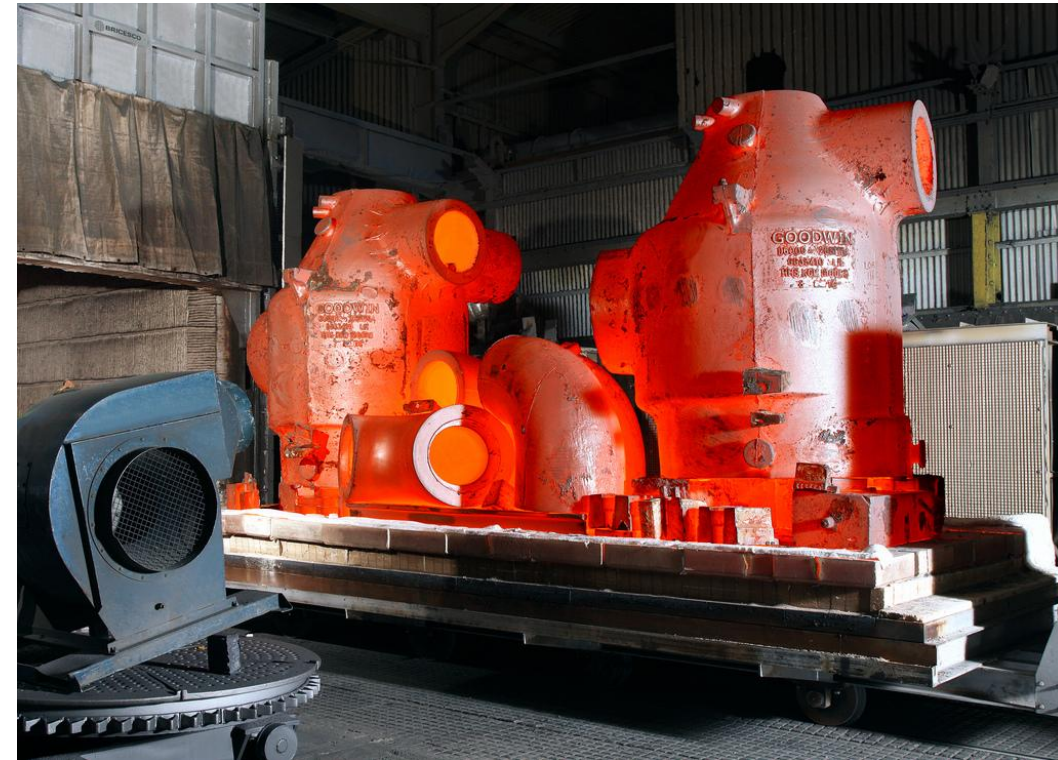
- Miksi ei: aikaa ja rahaa



<http://www.valuatlas.net> - ValuAtlas & Tampereen ammattiopisto – Jälkikäsittelytekniikka P. Niemi

# Lämpökäsittelyuunit

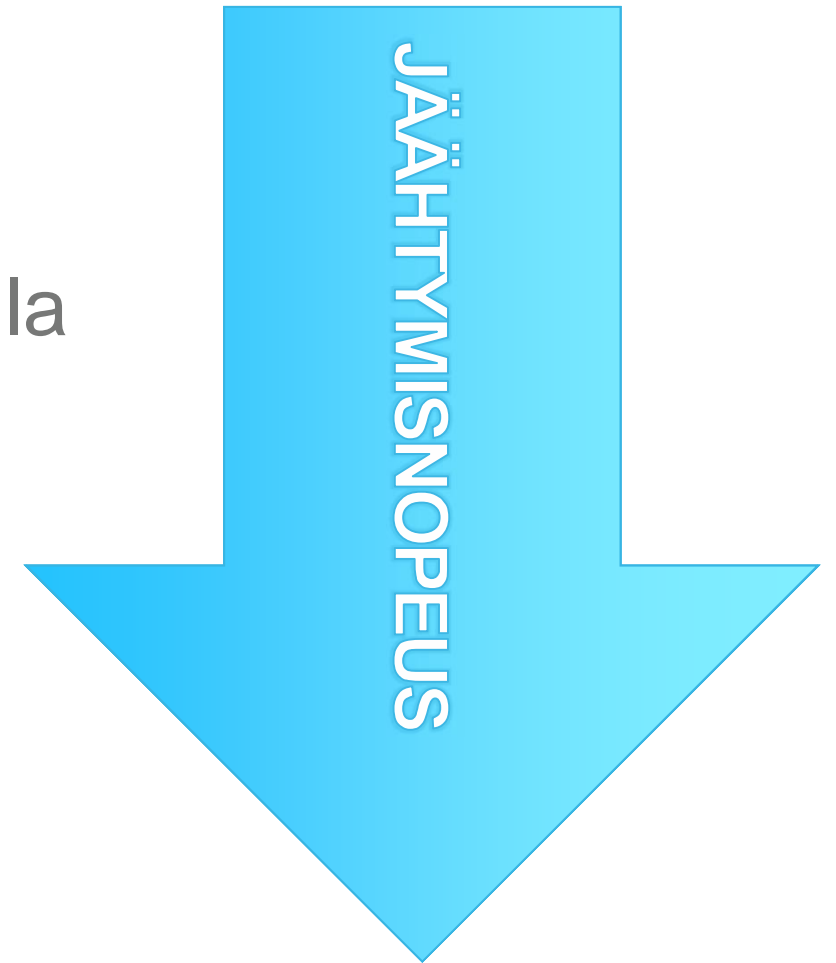
- Jaksoittain tai jatkuvasti toimivat uunit
- Sähkö- tai kaasutoimiset uunit
- Ilma-atmosfääri, suojakaasu, typpi- tai hiilipotentiali
- Suolakylpy- tai leijupatjauunit
- Normaali- tai alipaine
  
- Liekki, induktio- tai laserkuumennus
- Kontrolloitu muotin purku



By Goodwin Steel Castings - Flickr: Castings fresh from the heat treatment furnace, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16070140>

# Lämpökäsittelylaitteistot - jäähdytys

- Uunin mukana
- Virtauksettomassa ilmassa
- Ilmapuhalluksella uunissa tai ulkopuolella
- Sammutuksella:
  - Leijupatjaan
  - Ylipaineinen kaasu
  - Öljyyn
  - Polymeeriemulsioon
  - Veteen
  - Suolasulaan



# Valumateriaalien lämpökäsittelyt

- Valumateriaalit, jotka toimitetaan yleensä valutilaisina, mutta voidaan tarvittaessa lämpökäsitellä
  - osa pallografiittivaluraudoista,
  - suomugrafiittivalurauta,
  - tylppägrafiittivalurauta
  - osa tulenkestävistä teräslaaduista
- Valumateriaalit, joita toimitetaan yleisesti sekä valutilaisina että lämpökäsiteltyinä:
  - kulumiskestävät valuraudat,
  - austeniittiset valuraudat,
  - osa alumiiniseoksista ja osa kuparipohjaisista seoksista.

# Valumateriaalien lämpökäsittelyt

- Valumateriaalit, jotka on lämpökäsiteltävä mikrorakenteen valmistamiseksi.
  - osa pallografiittivaluraudoista,
  - adusoitu valurauta,
  - ausferriittinen pallografiittivalurauta (ADI),
  - kaikki teräslaadut useimpia tulenkestäviä teräksiä lukuun ottamatta,
  - erkaumakarkaistavat alumiiniseokset sekä osa magnesiumuseoksista.
- Valumateriaalit, joita ei lämpökäsitellä. Ryhmään kuuluvat kaikki painevalumenetelmällä valmistetut materiaalit, osa alumiini-piiseoksista, osa alumiini-pii-kupariseoksista, alumiini-magnesiumseokset sekä puhdas alumiini.

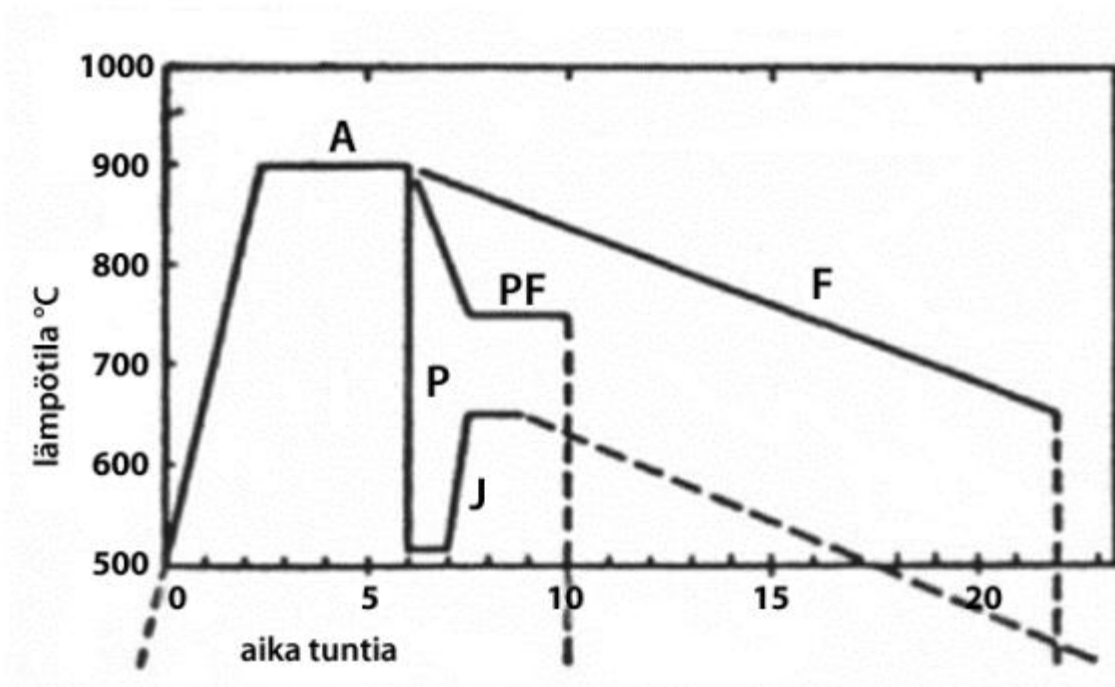


# Valurautojen lämpökäsittelyt yleisesti

- Suomugrafiittivalurauta:
  - Jännitystenpoisto
  - Ferritointi koneistettavuuden parantamiseksi
  - Karkaisu ja nuorutus
  - Pintakarkaisu
  - Austemperointi AGI
- Tylppägrafiittivalurauta
  - Ks. edellä
  - Austemperointi ACI
- Adusoitu valurauta
  - Valkoinen temperrauta
  - Musta temperrauta

# Valurautojen lämpökäsittelyt yleisesti

- Pallografiittivalurauta
  - Jännitysten poisto
  - Ferritointi, ferri-perlitointi ja perlitointi lujuusluokan mukaan
  - Karkaisu ja nuorutus
  - Pintakarkaisut
  - ADI, IDI, CADI/ADIWR
  - Erikoislämpökäsittelyt

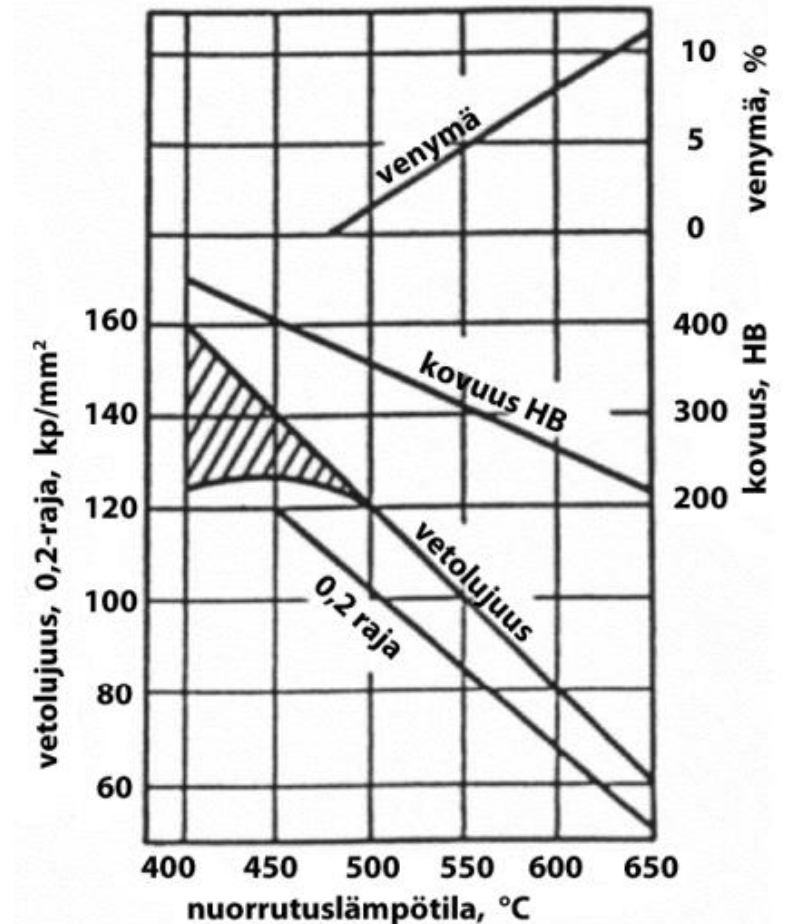


# Lämpökäsittelyiden määritelmät

- Jännitystenpoistohehkus eli myöstö:
  - Suoritetaan valussa syntyvien jäännösjännitysten laukaisemiseksi kokonaan tai osittain. Täydellinen poisto vaatii korkean yli 600 °C lämpötilan, jolloin myös mikrorakenne voi muuttua
- Pehmeäksi hehkus:
  - Tavoitteena ferriittinen rakenne, perliittisestä mikrorakenteesta sementtiitti palloutetaan tai hiilen annetaan diffundoitua grafiittiin
  - Voidaan suorittaa matalassa, keskitasoisessa tai korkeassa lämpötilassa riippuen lähtöaineen mikrorakenteesta ja kovuustavoitteesta

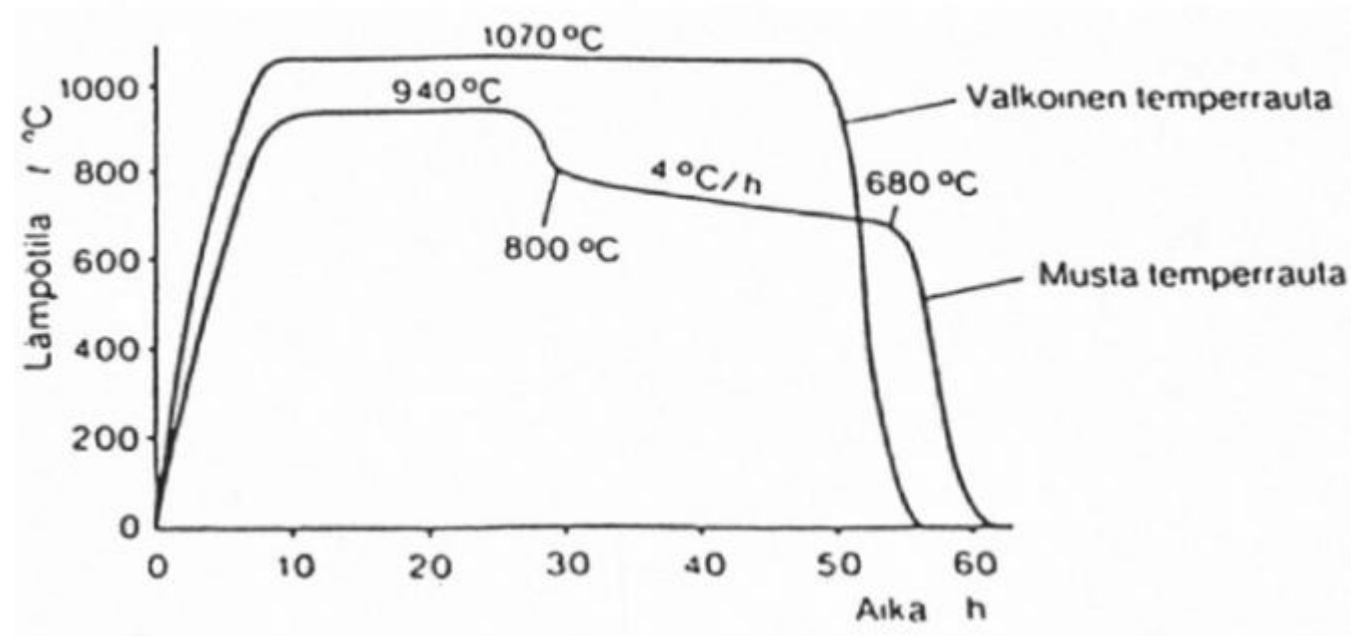
# Lämpökäsittelyiden määritelmät

- Karkaisu ja nuorrutus:
  - Austenointi ja sammutus -> martensiittinen mikrorakenne
  - Martensiittisen rakenteen kovuus ja kulumiskestävyys ovat erinomaiset, mutta karkaisusta aiheutuu kovia jännityksiä ja kappaleiden halkeiluriski on suuri. Nuorrutus poistaa jännityksiä ja lisää sitkeyttä
  - Pintakarkaisumenetelmillä saadaan ominaisuuksia muutettua paikallisesti, mutta vältetään koko rakenteen karkaisusta aiheutuvat ongelmat



# Lämpökäsittelyiden määritelmät

- Adusointi
  - Tempervalurauta valetaan valkoisena ja lämpökäsitellään grafiittiseksi
  - Pitkä hehkutus korkeassa lämpötilassa
  - Valkea tai musta hehkutusuunin atmosfäärin mukaan
    - hapettavassa atmosfäärissä hiili poistuu pintakerroksesta -> valko(ydin)tempervalurauta
    - hiilineutraalissa atmosfäärissä ei tapahdu hiilenkatoa musta(ydin)tempervalurauta
  - Matriisirakenteen säätö jäähtymisnopeudella



# Lämpökäsittelyiden määritelmät

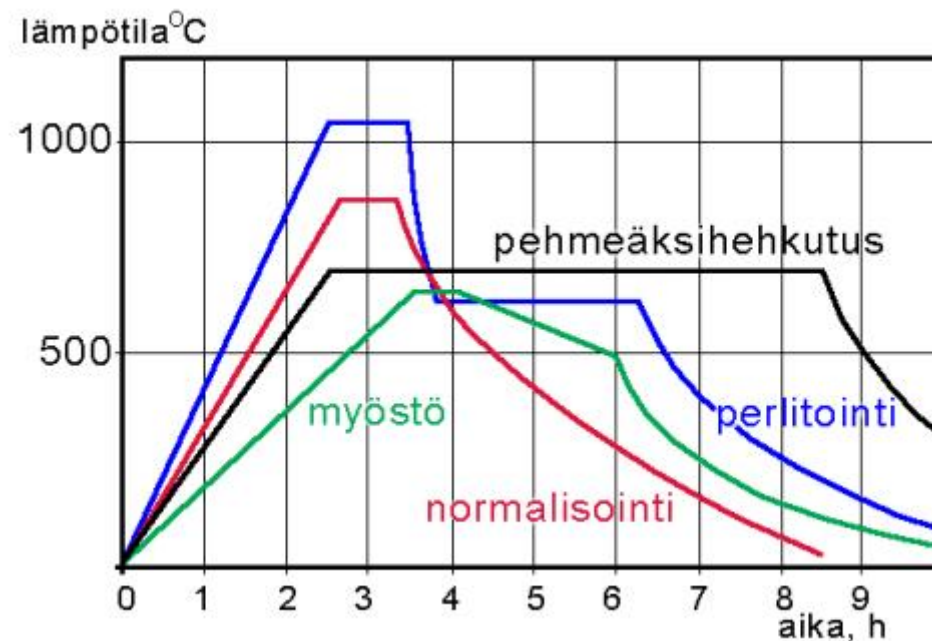
- Etappikarkaisu / isoterminen pito / austemperointi (nk. bainitointi)
  - Austenointi + sammutus ja pito suolasulassa Ms lämpötilan yläpuolella + jäähdytys
  - Saavutettava lujuus riippuu suolan lämpötilasta, normaalisti noin 300-350 °C
  - Ausferriittisen rakenteen lisäksi voidaan käyttää mm. CADI/ADIWR:n ja IDI:n valmistamiseen

# Lämpökäsittely

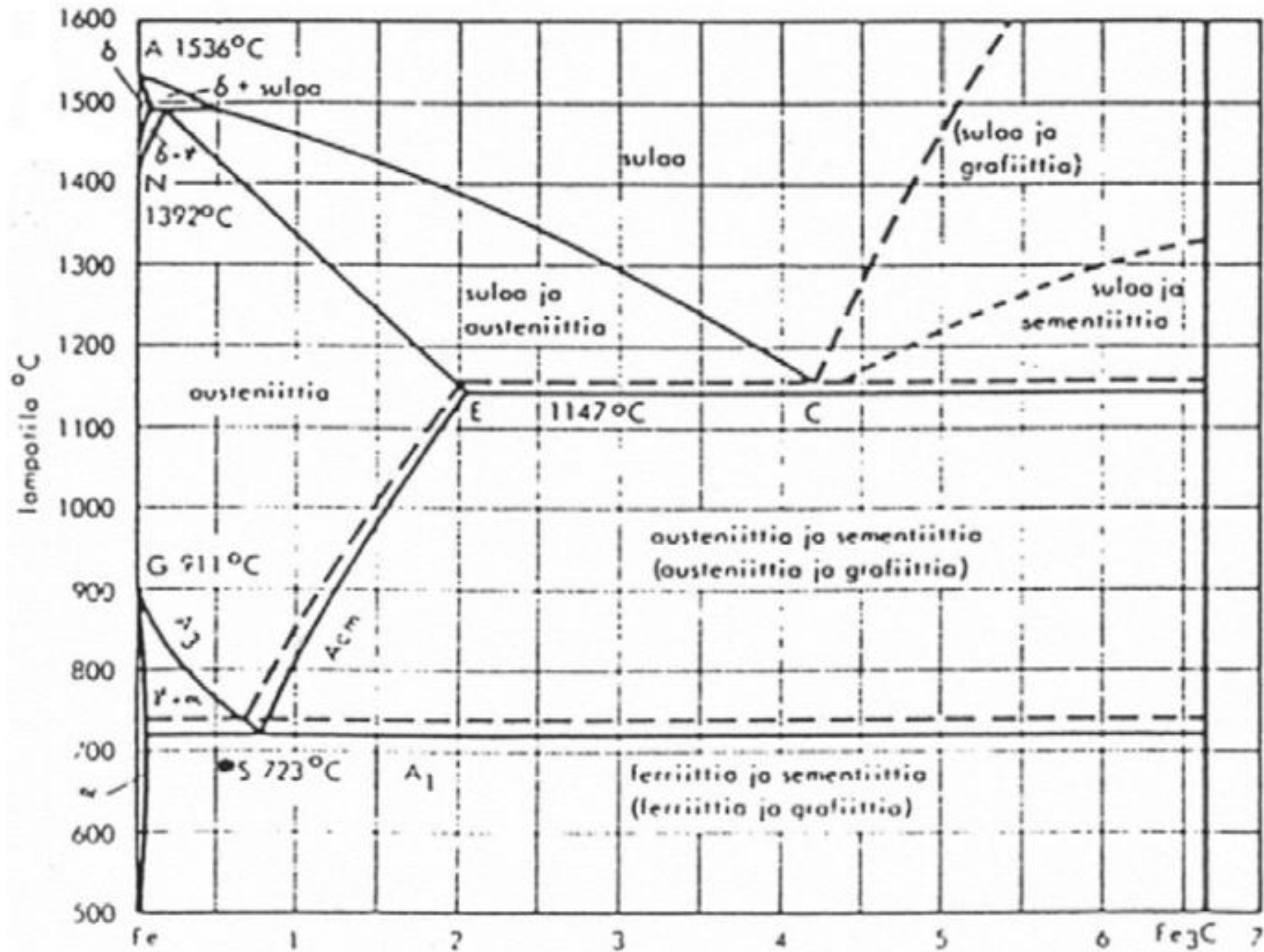
- Lämpötilan nosto:
  - kiihdyttää aineen atomien lämpöväärähtelyä
    - Ø Reaktioiden kinetiikka nopeutuu
    - Ø Atomien liike (diffuusio) helpottuu
    - Ø Hilavirheiden (dislokaatioiden) liike helpottuu
  - Seosaineiden liukoisuus kasvaa
- Lämpötilan lasku:
  - Säätelämällä jäähtymisnopeutta voidaan valita tasapaino- ja erilaisten epätasapainorakenteiden väliltä

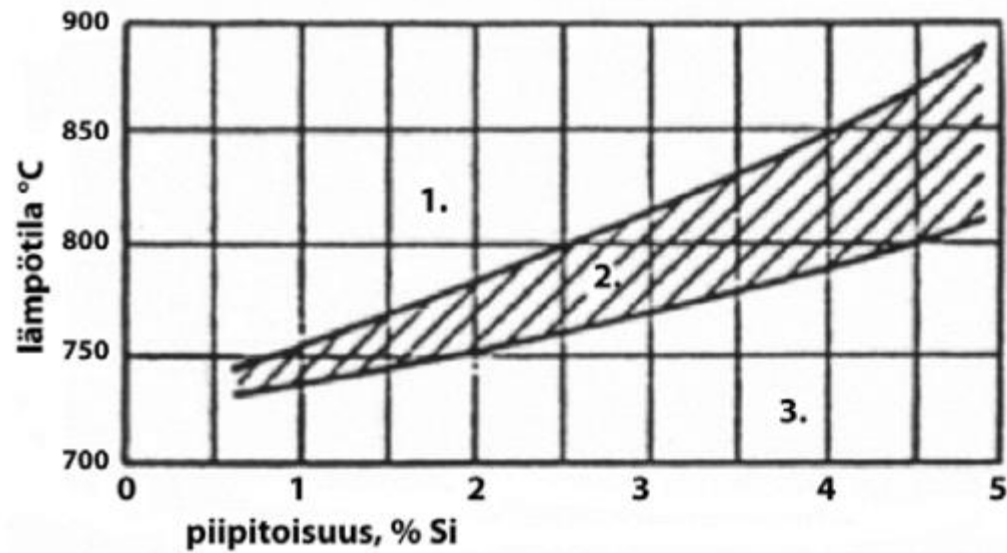
# Lämpötilan nosto

- Lämpötilan nostossa on vältettävä liian nopeaa nostoa ennen n. 650 C lämpötilaa ettei jännitykset halkaise kappaletta
- Lämmön siirto alhaisissa lämpötiloissa on hidasta etenkin vastusuuneissa, joten kuumennus ottaa aikaa
- Loppulämpötila riippuu lämpökäsittelyn tavoitteesta, tarvitaanko faasimuutos austeniitiksi vai ei eli ylitetäänkö kriittinen lämpötila  $A_1$  vai ei
  - Kriittinen lämpötila riippuu etenkin hiili- ja piipitoisuuksista









Kuva 8. Muutoslämpötila-alueen riippuvuus piipitoisuudesta. 1. Austeniittia + g Austeniittia + ferriittiä + grafiittia; 3. Ferriittiä + grafiittia.

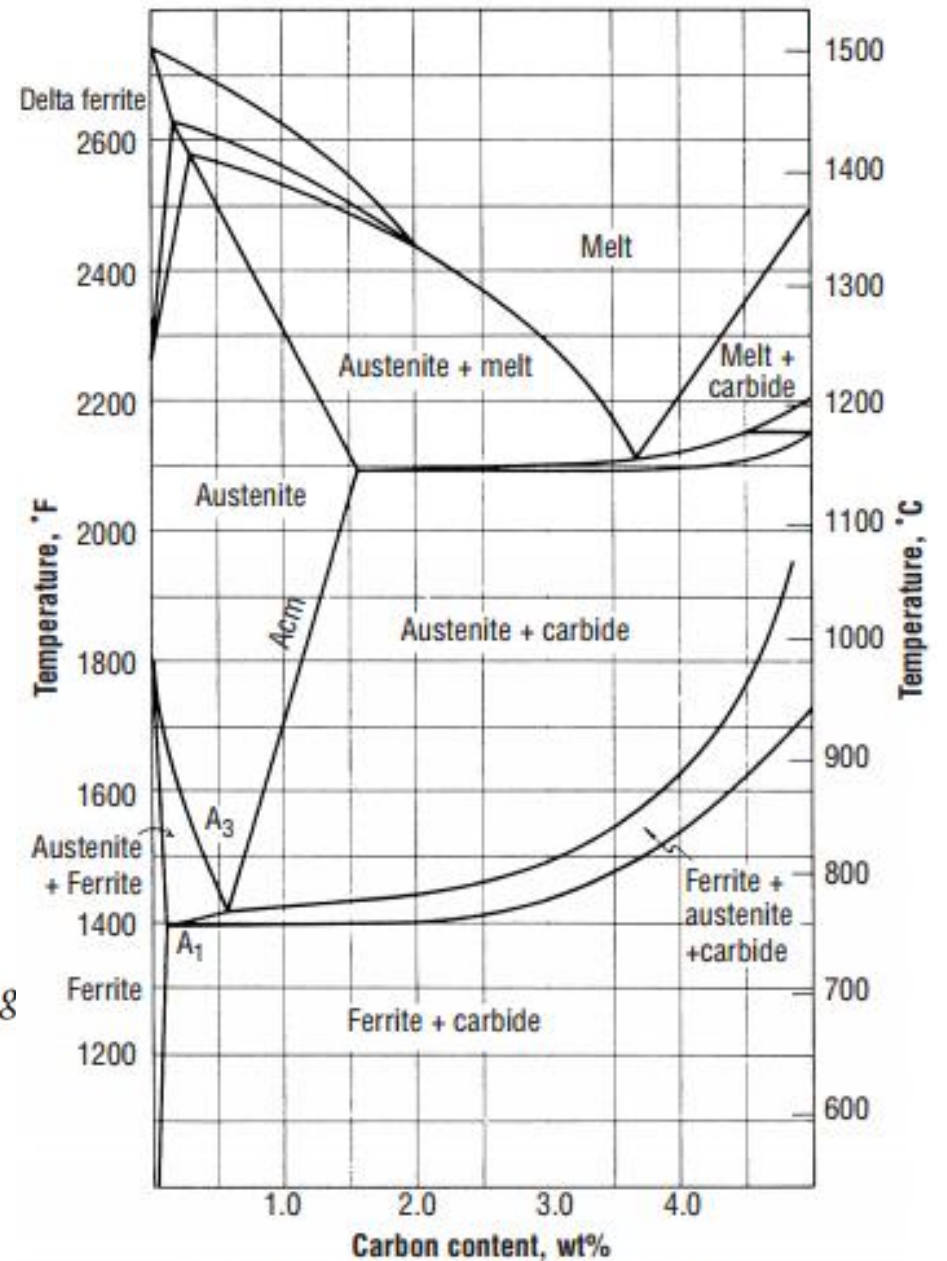
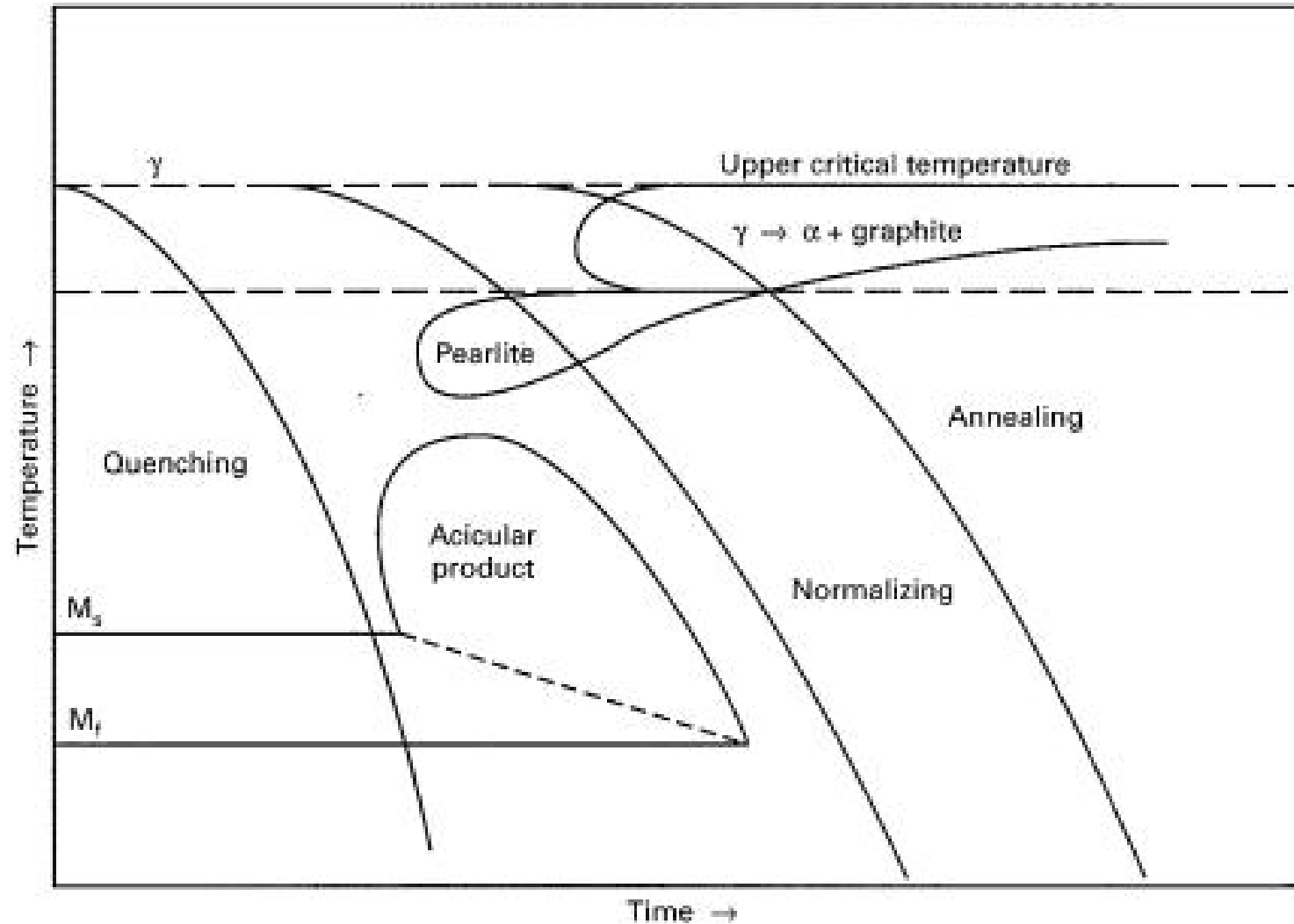


Fig 2. Fe-C-Si diagram at 2% silicon. Silicon strongly promotes graphite formation.

# Pito

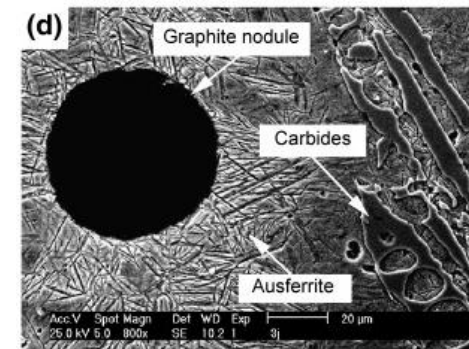
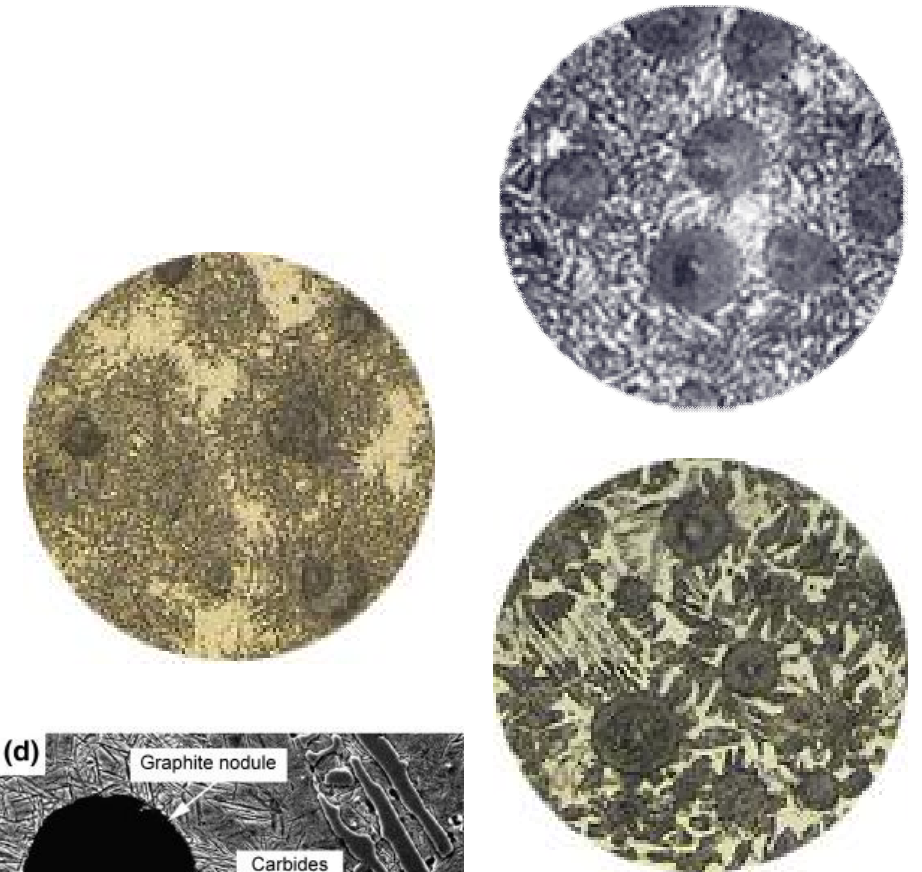
- Mitä korkeampi lämpötila, sitä nopeammin reaktiot tapahtuvat
- Hiilen liukoisuus riippuu pitolämpötilasta
- Eutektoidinen karbidi liukenee nopeammin kuin eutektinen, eutektisten karbidien liuotukseen tarvitaan korkeampi lämpötila
- Korkea pii, nikkeli ja palloluku korreloivat nopeamman liukenemisen kanssa kun karbidoivat seosaineet (Mn, Cr, V, Mo) hidastavat
- Riittävä pitoaika on tarpeen hiilen liuottamiseksi grafiitista perlitointia varten ja austemperoinnin onnistumisen takaamiseksi

# Jäähdytys



# ADI, CADI/ADIWR, IDI

- ADI ausferriittinen pallografiitti valurauta = hiilellä stabiloidun austeniitin ja asikulaarisen (bainiittisen) ferriitin seos
- ADIWR = vajaasti tarkoituksella käsitelty ADI, jolloin osa austeniitista jää epästabiiliksi ja muuttuu martensiitiksi
- IDI isoterminen pallografiittivalurauta = matalasti seostettu suolasammutettu ja isotermisesti lämpökäsitelty pallorauta
- CADI karbidinen ADI = seostuksella osittain valkoiseksi jähmettymään saatu pallografiittirauta, joka on austemperoitu



# Viitteet

- Jälkikäsittelytekniikka, ValuAtlas ja Tampereen ammattiopiston oppimateriaali, Pekka Niemi  
[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_jalkikasittely\\_1.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_1.pdf)
- Valujen lämpökäsittely, Hiekkavalimon valimoprosessi, Erkki Itävuori  
[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/valimoprosessi\\_9.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/valimoprosessi_9.pdf)
- Valukappaleiden lämpökäsittelyyunit, Valimotekniikka 2, Ingman, Autere, Tennilä  
[http://www.valuatlas.fi/tietomat/oppimateriaalit/valimotekniikka\\_1\\_2/index.html](http://www.valuatlas.fi/tietomat/oppimateriaalit/valimotekniikka_1_2/index.html)  
(salasanasuojattu)
- Heat Treatment, Ductile Iron Data for Design Engineers  
<http://www.ductile.org/didata/Section7/7intro.htm>
- ASM Handbook: Heat treatment
- Peng et al, 2012, Influence of cooling rate on the microstructure and properties of a new wear resistant carbidic austempered ductile iron (CADI). Materials Characterization Vol 72, p. 53-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2012.07.006>