

**130 GODINA POSTOJANJA, RAZVOJA I PRIMJENE
Fe-C (Fe-Fe₃C) DIJAGRAMA STANJA**

**130 YEARS OF EXISTENCE, DEVELOPMENT AND APPLICATION
OF Fe-C (Fe-Fe₃C) PHASE DIAGRAMS**

**Dr. Nadija Haračić, vanredni profesor
Mašinski fakultet
Fakultetska ulica, br.1 - Zenica**

ABSTRAKT

Od konstruisanja prvog dijagrama stanja Fe-C, daleke 1879. godine (Mannesmann), objavljeno je oko pedeset dijagrama stanja Fe-C, prema raznim autorima, od kojih se neki zasnivaju na potpuno različitim podacima o temperaturama preobražaja i koncentraciji ugljika. U ovom radu dat je kratak prikaz pojave, razvoja i primjene u raznim oblastima nauke i tehnike, dijagrama stanja Fe-C (Fe-Fe₃C), na osnovu pregleda relevantne literature, savremenih izvora informisanja i praktičnih iskustava, u toku stotridesetogodišnjeg perioda od njegove pojave do danas.

Ključne riječi: dijagram stanja Fe-C (Fe-Fe₃C), legure željeza, ravnoteža, mikrostruktura

ABSTRACT:

Since the construction of the first Fe-C phase diagram (1879-Mannesmann), about fifty diagrams have been published by various authors. Some of them are founded on completely different data on the both phase transformation temperatures and carbon concentrations. Following the review of the relevant source books, contemporary sources of information as well as practical experience over 130 years long period, the paper presents occurrence, development and application of Fe-C phase diagrams in various fields of science and techniques.

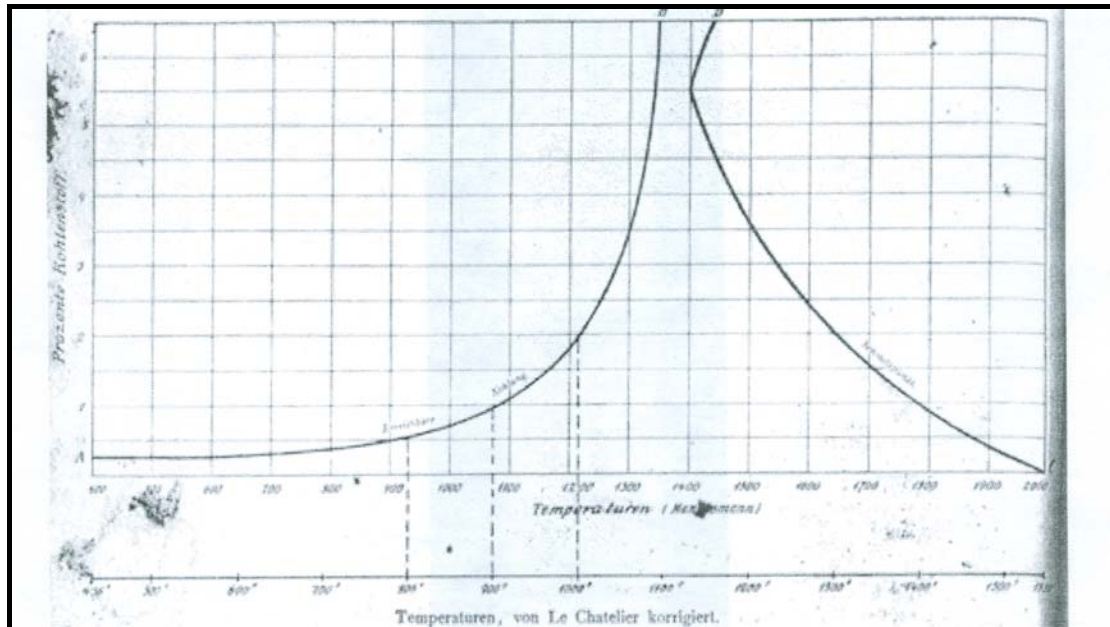
Key words: Fe-C (Fe-Fe₃C) phase diagram, Fe-base alloys, equilibrium, microstructure

1. UVOD

1.1. Različiti Fe-C dijagrami stanja, objavljeni u literaturi za posljednjih od 130 godina

Godine 1869. Gore je opazio da se bijelo usijana gvozdna žica pri naglom hlađenju ne skuplja jednoliko, nego se u početku pokazuje izvjesno povećanje dužine. Ispitivanja su nastavili Pionchon, Barret itd. vršeci proučavanje količine toplote potrebne za postizanje izvjesnog povišenja temperature. 1879. godine Mannesmann je na osnovu rezultata, mnogobrojnih eksperimenata konstruisao dijagram sl.1., koji se smatra pretečom dijagrama stanja Fe-C. Pošto u to vrijeme nije bilo moguće tačno mjeriti temperaturu fizički, temperature su date opisno kao na pr. „svijetlo žuta“ itd. Tek poslije Le Chatelierovog pronalaska platina/platina-rodijum termoelementa, bilo je moguće izmjeriti temperaturu

veoma precizno. Kao što se može vidjeti na dijagramu sl.1. ovim pronalaskom stiglo se do temperaturnih razlika od oko 200°C . Osmond, Roberts-Austen, Carpenter, Kelling i Heyn su nastavili ispitivanja. Oni su proučavali ponašanje čelika sa različitim procentima ugljika pomoću Le Chatelierovog termoelementa i pri tom su konstatovani skokovi u naponima pri različitim temperaturama.

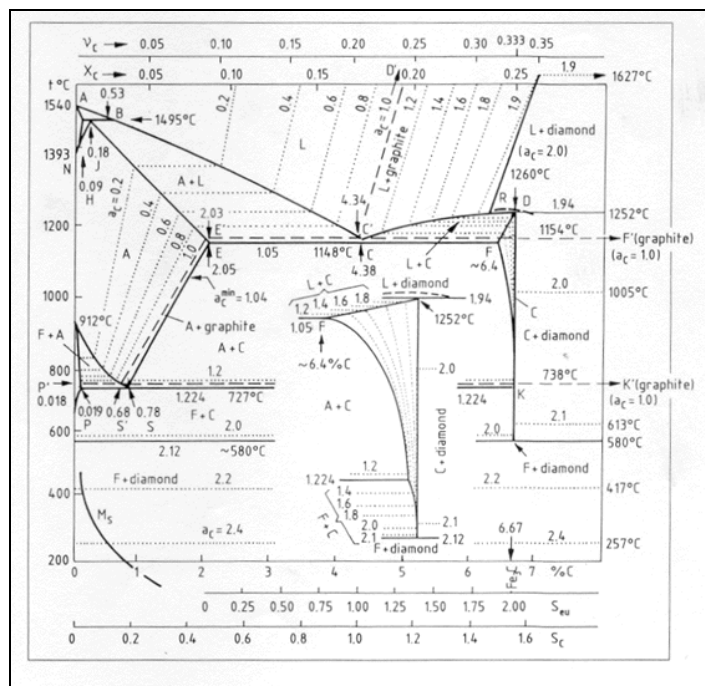


Slika 1. Dijagram Fe-C prema Mannesmannu- [1]

Izvor: Das Zustandsdiagramm des Systems Eisen-Kohlenstoff, H.M.Howe, Metallurgie, Vol.VI(1909).

U toku stotridesetogodišnjeg perioda od konstruisanja prvog dijagrama stanja (Mannesmann), objavljeno je oko pedeset dijagrama stanja Fe-C, prema raznim autorima, od kojih se neki zasnivaju na potpuno različitim podacima o temperaturama preobražaja i koncentraciji ugljika. Od svih objavljenih dijagrama stanja Fe-C, četiri dijagrama (Mannesmann, Roberts Austen 2x i Jüptner) objavljena su od 1879. do 1899. godine. Najveći broj (11) dijagrama stanja Fe-C objavljen je početkom 20. vijeka (od 1900. do 1909.god.); dijagram stanja Fe-C objavljen 2000. godine od A.A.Zhukova Sl.2. prikazuje i linije izoaktiviteta, a objavljen je u radu: „Certain topics of the present state of the theory of grafitization of cast iron, Giessereiforschung, Vol.44(1992.), pp.106 do 112. Ovaj dijagram prikazuje razvoj teorije grafitizacije legura željeza. On takođe daje objašnjenje, grafitizacije cementita (na termodinamičkim osnovama), i formiranje i objašnjenje konstante grafitizacije. Dijagram Zhukova takođe, omogućava ocjenu odnosa između hemijskog sastava, mikrostrukture i mehaničkih osobina livenog gvožđa, čime prestaje stogodišnja praksa proučavanja dijagrama stanja kao „geografije“.

Na kraju treba napomenuti da promjene temperature izazivaju tzv. termičke, odnosno makronapone, dok promjene u strukturi čine tzv. mikronapone. One se kombinatno javljaju pri livenju, zavarivanju, gnječenju, termičkoj obradi i sl. Osnovna pažnja treba da se obrati toplotnim naponima koji nastaju zbog nekih nepovoljnih mjesta u obratku (neujednačeni oblici, nemetalni uključci, ulivna mjesta u odlivku, vanjska grijanja pri zavarivanju). Ovi naponi lokalizovani čak i oko nemetalnih uključaka, se danas mogu izračunati oofl.bmp analizom [9], uz prethodnu identifikaciju mikrostrukture naravno, opet pomoću dijagrama stanja Fe-C. U ovom radu dat je kratak prikaz razvoja dijagrama stanja u proteklih 130 godina na osnovu literaturnih podataka i njegovoj višestrukoj, praktičnoj primjeni na osnovu iskustvenih saznanja.



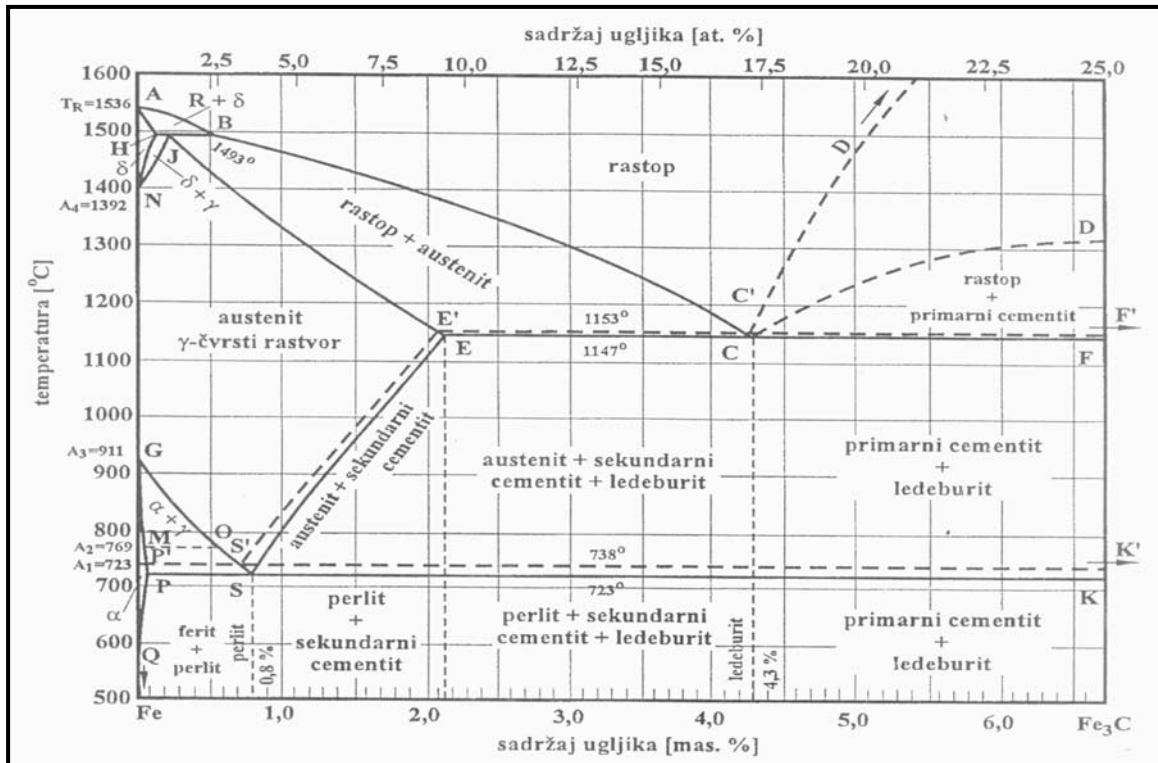
Slika 2. Diagram Fe – C prema A.A.Zhukovu, objavljen 1992. [1]

2. OSNOVE O DIJAGRAMU STANJA Fe-C (Fe-Fe₃C)

Ugljik je najvažniji hemijski element koji ulazi u sastav čelika i direktno utječe na njegove osobine, pa se smatra prvom najvažnijom komponentom i (izuzetno) se ne smatra ni primjesom, niti dodatkom u leguri sa željezom. Dijagram stanja željezo-ugljik predviđa stabilne ravnotežne uslove između željeza i ugljika u obliku grafita. Poznato ju da se željezo javlja u obliku tri alotropske modifikacije (Osmond): kao nisko temperaturna faza - α ; srednje temperaturna faza - γ i visoko temperaturna faza - δ . Pored toga, feritno željezo trpi magnetnu faznu transformaciju na 771⁰ C (1420⁰ F) između niskotemperaturnog, feromagnetnog i visokotemperaturnog, paramagnetnog stanja. Uobičajeni naziv za volumski centrirano kubno α -željezo (VCK-BCC) je ferit (od ferrum, latinski –željezo); površinski centrirana kubna γ -faza se zove „austenit“ prema William-Roberts-Austenu. Glavna odlika Fe-C dijagrama stanja je prisustvo eutektičke i eutektoidne reakcije, zajedno sa velikom razlikom u rastvorljivosti u čvrstom stanju ugljika u feritu i austenitu. To je karakteristika koja omogućava veliki broj mikrostrukture i mehaničkih osobina Fe-C (Fe-Fe₃ C) legura preko termičke obrade. Ugljik se u željezu nalazi u dva različita oblika kao: elementarni ugljik sl.4., (grafit, temper ugljik) ili u vidu jedinjenja sa željezom kao Fe₃C sl.5., (karbid željeza, cementit). Shodno tome, procesi kristalizacije u legurama željezo-ugljik opisuju se prema dva različita dijagrama stanja: prema sistemu željezo-karbid željeza (Fe-Fe₃ C) i prema sistemu željezo – grafit (Fe –C) sl.3.

Pune, izvučene linije na dijagramu na sl.3. se odnose na metastabilni sistem Fe-Fe₃C (kristalizacija pri ubrzanom hlađenju), a isprekidane linije na stabilni sistem Fe-C kristalizacija pri vrlo sporom hlađenju). Svaka linija i tačka, inače u dijagramu tačno definiše sastav legure.

Treba primijetiti da se tačka magnetnog preobražaja ne uočava pri praktičnoj termijskoj analizi, jer su razlike u toploti veoma male. Nasuprot ovome, na dilatometarskoj krivoj tačka Acm (početak izdvajanja Fe₃ C“ iz austenita pri hlađenju, a završetak pri zagrijavanju) se zapaža.

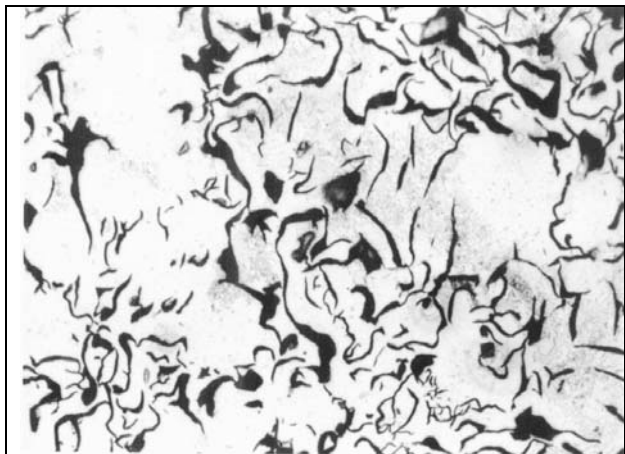


Slika 3. Dijagram stanja Fe-Fe₃C(Fe-C)[1]

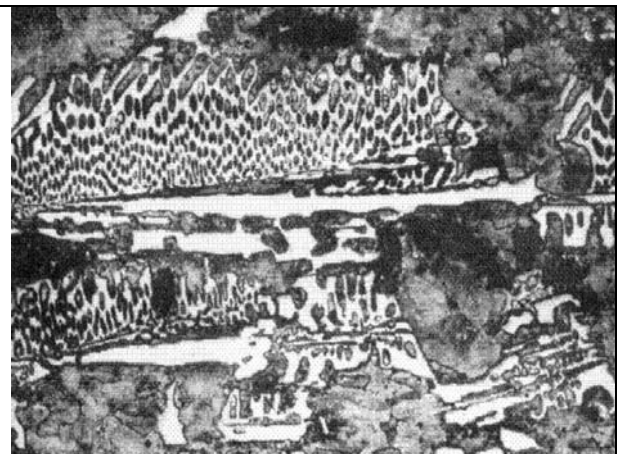
Na slici 3. je prikazan dijagram stanja Fe-Fe₃C prema: M.G. Benz, J.F. Elliot, Trans., AIME 221 (1961)323 i prema R.A. Buckley, W. Hume - Rothery, Trans. AIME 224 (1962), 625 koji se najčešće koriste u praksi.

Linija AHJBCD je likvidus, linija iznad koje je legura u tečnom stanju.

Linija AHJEKF je solidus granica ispod koje je legura u potpunosti u čvrstom stanju.



Slika 4. Grafit (crno) [8]

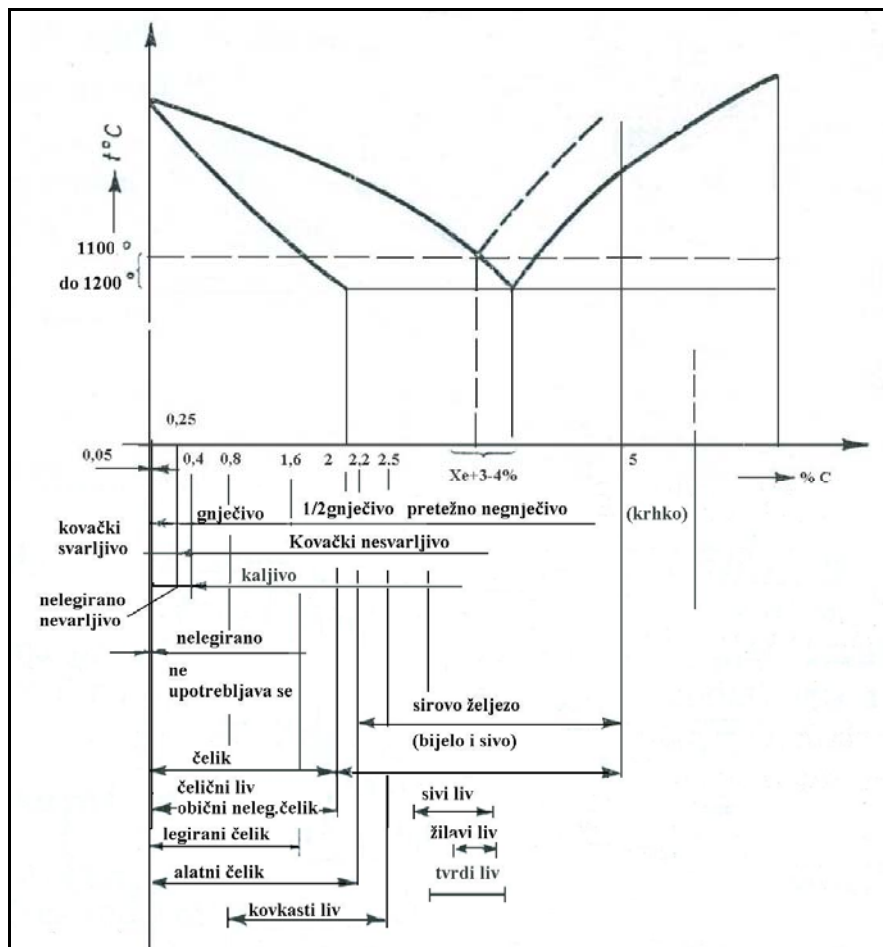


Slika 5. Cementit (bijelo) [4]

Uprkos mnogim prednostima, takođe postoje mnoge promjene koje se dešavaju u svakodnevnoj praksi, a koje se ne mogu objasniti ovim dijagramom, kao na primjer pothlađenje, nedostatak nukleacije, neravnotežni uslovi, što ni malo ne umanjuje njegovu važnost u svakodnevnoj, metalografskoj i praksi termičke obrade sve do danas.

3. PODJELA ŽELJEZNIH LEGURA PREMA DIJAGRAMU Fe-Fe₃C

Na slici 6. se vidi pregled podjele legura željeza i ugljika, povezan sa Fe-C (Fe-Fe₃C) dijagramom stanja.

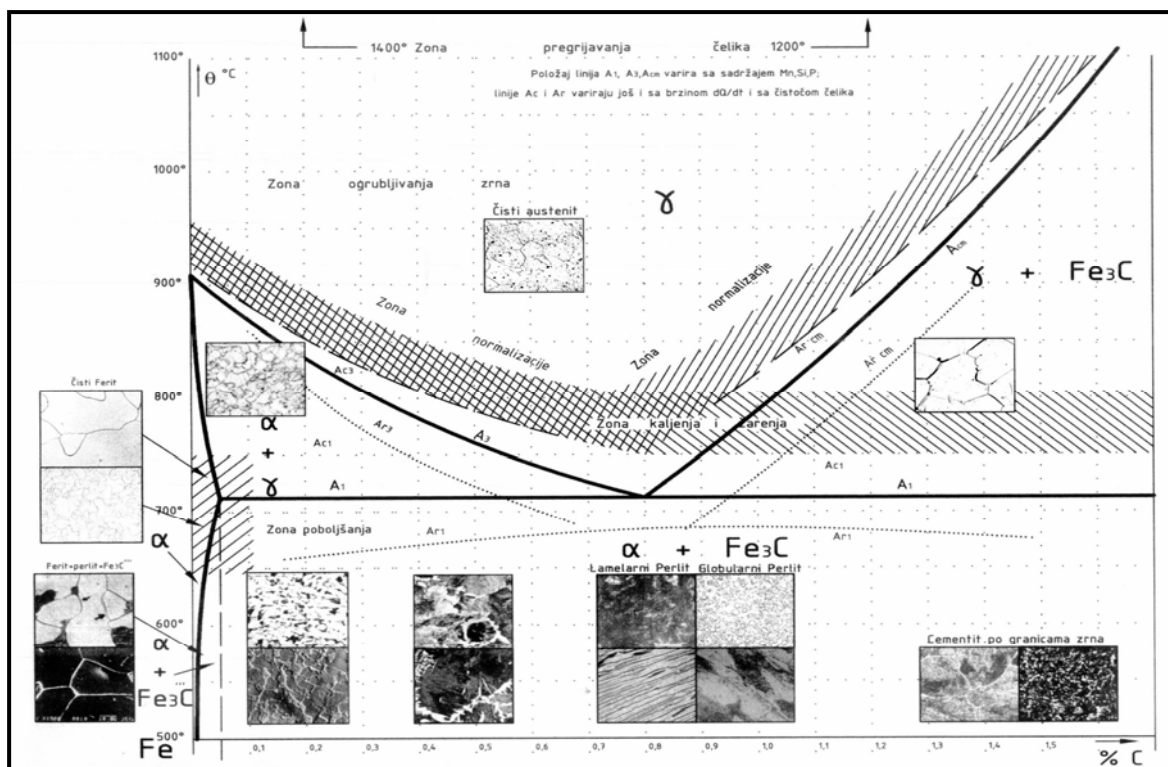


Slika 6. Područja željeznih legura prema dijagramu Fe-Fe₃C (Fe-FeC)[3]

Kao što se vidi iz područja dijagrama stanja Fe-C, sa sl.6. na osobine legura željeza i ugljika najjače utječu mekani ferit (tvrdoća ispod 80HB), polumekani eutektoid-perlit (tvrdoća oko 180HB) i tvrdi, slobodni cementit (sekundarni, eutektički i primarni sa tvrdoćom višom od 800HB) [6,8].

4. ZNAČAJ I ULOGA DIJAGRAMA STANJA Fe-Fe₃C U TERMIČKOJ OBRADI

Rastvaranje ugljika u željezu je intersticijskog karaktera, pa se njegova rastvorljivost u željezu mijenja u zavisnosti od temperature i vrste kristalne rešetke, koja se takođe mijenja sa temperaturom. Osmond je primjetio da pri hlađenju tačka transformacije A₂ leži nešto niže nego pri zagrijavanju. On je takođe ustanovio da temperatura transformacije zavisi od brzine zagrijavanja pa je izveo zaključak „ da je teoretska temperatura za kritičnu tačku pri zagrijavanju i hlađenju ista, ali pošto hemijska reakcija kao polimorfna transformacija stiče neku brzinu samo onda kada je sistem dovoljno udaljen od uslova ravnoteže, to se u praksi uvijek zapaža neko zakašnjenje vezano sa brzinom hlađenja ili zagrijavanja, čak i u tom slučaju, kada je ova posljednja beznačajna“[5]. Mehl i Wells su istraživanjem potvrdili pravilo koje je postavio Osmond (tačkaste linije na Sl.7., [4]).



Slika 7. Područje dijagrama stanja Fe-Fe₃C za termičku obradu[4]

Dijagram stanja, uprkos izvjesnih nedostataka, ima veliki značaj za proučavanje procesa termičke obrade, uz poznavanje strukturnih promjena legura pri hlađenju i zagrijavanju.

5. ZAKLJUČAK

Eksperimentalni radovi na proučavanju promjena željeza i njegovih legura sa ugljikom, prilikom zagrijavanja i hlađenja, datiraju još od daleke 1869. godine pri čemu je Mannesmann 1879. godine konstruisao dijagram koji se smatra pretečom dijagrama stanja Fe-C. Nakon toga, u toku stotridesetogodišnjeg perioda, objavljeno je oko pedeset dijagrama stanja Fe-C, prema raznim autorima, od kojih se neki zasnivaju na potpuno različitim podacima o temperaturama preobražaja i koncentraciji ugljika. Dijagram stanja Fe-C (Fe-Fe₃C), uprkos izvjesnih nedostataka, ima i danas veliki značaj za proučavanje procesa termičke obrade uz poznavanje strukturnih promjena legura pri hlađenju i zagrijavanju i njihovih posljedica na mehaničke i druge osobine legura željeza i ugljika.

6. REFERENCE

- [1] Cees van de Velde: The Iron Carbon Diagram over the Years, cvd@zeelandnet.nl, 2000.09.26
- [2] Hadžipašić A.: Termička obrada metalnih materijala, Dom štampe, Zenica, 2006.
- [3] *** Praktičar, Strojtarstvo2, Školska knjiga Zagreb, 1972.
- [4] Haračić N.: Dijagram stanja Fe-Fe₃C- Repetitorij, www.mf.unze.ba
- [5] Guralj S: Termička obrada čelika, Izdavačko preduzeće "Građevinska knjiga", Beograd 1962.
- [6] Haračić N.: Cementacija čelika za zupčanike mjenjača-Mikrostruktura cementiranog sloja (monografija), Mašinski fakultet, Zenica 2003.
- [7] Fuller E.: Privatna komunikacija, 1999.