

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR

DIPLOMSKO DELO
DEFORMACIJE OZOBJA MED TERMIČNO
OBDELAVO

Kandidat: Bojan Gajšek

Vrsta študija: Študent izrednega študija

Številka indeksa: 11190040052

Študijski program: Strojništvo

Mentor: mag. Jože Ravničan

Mentor v podjetju: Mitja Kamplet dipl.ing. met.

Maribor, 2015

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Bojan Gajšek, z vpisno št 11190040052, sem avtor diplomskega dela z naslovom Deformacija ozobja med termično obdelavo, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Jožeta Ravničana in mentorja v podjetju Mitje Kampleta, dip. ing. met.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predložena projektna naloga izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013), prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Slov. Konjice, september 2015

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju v podjetju Mitji Kampletu, dip ing. metalurgije za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi mentorju mag. Jožetu Ravničanu za pomoč in vodenje pri izdelavi diplomskega dela.

Posebna zahvala gre lektorici mag. Karlini Koželj, prof. angleškega jezika s književnostjo in slovenskega jezika s književnostjo.

Zahvaljujem se svojim najbližjim za razumevanje in spodbudo.

POVZETEK

V svojem diplomskem delu v prvem delu predstavil podjetje GKN Driveline Slovenija d.o.o. Poudaril sem pomen kakovosti in opisal sem proizvodni program. V naslednjih poglavjih je opisan in prikazan teoretični postopek toplotne obdelave jekla, natančno je predstavljena tehnologija cementacije in kaljenja v našem podjetju. Pri pesti AC 1500i so se med kaljenjem pojavile težave z deformacijo ozobja. Ugotavljam, da na končno dimenzijo ozobja med procesom hladne in kasneje tople obdelave peste vpliva več faktorjev.

V praktičnem delu naloge želim predstaviti izboljšanje trenutnega stanja. To je razlog, da sem na začetku praktičnega dela opisal celotni potek izdelave peste v našem podjetju, katerim elementom moramo posvetiti pozornost, kako smo pridobili vzorčne kose in jih spremljali v nadaljnjih procesih. Nato sem opisal dva načina hlajenja šarže v kalilni peči. Testi so bili narejeni v obeh primerih ohlajanja (vsak primer po tri krat). V zaključku sem navedel in analiziral rezultate na podlagi končne meritve ozobja vzorcev po termični obdelavi in narejenih metalografskih meritvah.

Ključne besede: cementacija, kaljenje, konični kaliber, mere preko valjčkov, pesto, homokinetični zglob, gred, polgred.

ABSTRACT

Heat treatment spline deformation

In the first part of my diploma I have presented the company GKN Driveline Slovenia d.o.o. I have stressed the importance of quality. I have also described the production program. In the following chapters the theoretical procedure of steel heat treatment is described. The technology of carburizing and quenching of our company is also precisely shown. In the case of the inner race AC 1500 the problems with the deformation of the splines occurred during quenching.

I have also realized that during the cold and later on heat treatment of the inner race the final dimension of splines has been affected by several factors.

In the practical part of the thesis I want to present the improvement of the present situation. This is the reason why I have described the whole process of the inner race production of our company at the beginning of this chapter. There is also mentioned which elements need our special attention, how we have acquired sample pieces, that have been followed in further processes. Then, I have described two methods of cooling the batch in the furnace. Tests were also made in both cases of the cooling (in each case three times).

In conclusion, I noted and analyzed the results based on the final measurements of the splines after heat treatment and metallographic measurements that were made.

Key words: carburizing, quenching, conical guage, dimensions over pins, inner race, fixed ball joint, shaft, half shaft.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	9
1.1	Opredelitev področja in opis problema.....	9
1.2	Namen, cilji in osnovne trditve diplomskega dela.....	10
1.3	Predpostavke in omejitve raziskave	11
1.4	Predvidene metode raziskovanja	11
2	PREDSTAVITEV PODJETJA	12
2.1	Predstavitev podjetja GKN	12
2.2	Proizvodni program	13
2.3	Kakovost.....	16
3	TEORETIČNI DEL TOPLOTNA OBDELAVA.....	17
3.1	Osnovne lastnosti čistega železa.....	17
3.2	Sistem železo – cementit	17
3.3	Cementacija	19
3.4	Popuščanje kaljenega jekla	22
3.5	Deformacije pri toplotni obdelavi.....	22
3.6	Merjenje trdote po Vickersu	24
4	PROCES IZDELAVE PESTA IN TERMIČNA OBDELAVA -PRAKTIČNI DEL	25
4.1	Proces izdelave pesta	25
4.2	Termična obdelava.....	34
4.2.1	<i>Cementacija in kaljenje</i>	<i>34</i>
4.2.2	<i>Popuščanje</i>	<i>40</i>
4.2.3	<i>Metalografske meritve</i>	<i>41</i>
5	REZULTATI IN DISKUSIJA.....	44
6	ZAKLJUČEK.....	50
7	UPORABLJENA LITERATURA IN VIRI	51
8	PRILOGE	52

KAZALO SLIK

Slika 1:	Polgred	13
Slika 2:	Homokinetični zglob.....	14
Slika 3:	Položaj tripode	15
Slika 4:	Binarni sistem železo-ogljik	18
Slika 5:	Fazna diagram Fe-Fe ₃ C in Fe-C	21
Slika 6:	Diagram kaljenja in popuščanja.....	22
Slika 7:	Preizkus trdote po Vickersu	24
Slika 8:	Odkovek	25
Slika 9:	Pesta s postruženo izvrtino in utorom	26
Slika 10:	Posneto ozobje	26
Slika 11:	Konični kaliber pri posnemanju.....	27
Slika 12:	Pripravljen material za termično obdelavo	28
Slika 13:	Ipsen pralni stroj za predpranje	28
Slika 14:	Dvokomorna šaržna peč.....	30
Slika 15:	Ipsen pralni stroj	30
Slika 16:	Ipsen peskalni stroj	31
Slika 17:	Peskana pesta	31
Slika 18:	Sortirni stroj Disgapre	32
Slika 19:	Trdo zunanje brušenje in brušenje tečin	32
Slika 20:	Zunanje brušenje in brušenje tečin.....	33
Slika 21:	Homokinetični zglob.....	33
Slika 22:	Prikaz postavitve vzorcev na pečni sarži	35
Slika 23:	Prikaz postavitve vzorcev na pečni sarži	35
Slika 24:	Peč Ipsen 4	36
Slika 25:	Izpisek iz peči 1. primer (brez zanke)	38
Slika 26:	Izpisek iz peči 1. primer (brez zanke)	39
Slika 27:	Meritve na koničnem kalibru po termični obdelavi	40
Slika 28:	Metalografski mikroskop	41
Slika 29:	Vzore peste.....	42
Slika 30:	Zwick ZHV-10.....	43

KAZALO TABEL

Tabela 1: Test številka 1 merjeno brez zanke.....	44
Tabela 2: Test številka 2 merjeno brez zanke.....	45
Tabela 3: Test številka 3 merjeno brez zanke.....	45
Tabela 4: Test številka 4 merjeno z zanko	46
Tabela 5: Test številka 5 merjeno z zanko	47
Tabela 6: Test številka 6 merjeno z zanko	47

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Skrčki glede na posamezne teste.....	48
Graf 2: Vrednost raztrosa pri posameznih testih	49

1 UVOD

1.1 *Opredelitev področja in opis problema*

Podjetje GKN Driveline Slovenija, d.o.o. Zreče proizvaja transmisijske komponente, ki omogočajo prenos moči iz motorja na kolo.

Komponente, ki jih termično obdelamo-cementiramo / karbonitriramo, so :

- kletka,
- pesta in
- tripoda.

V diplomski nalogi se bom osredotočil na termično obdelavo peste. Ta omogoči prenos moči iz gredi na čep.

Tehnološki postopek izdelave peste je sestavljen iz:

- odkovkov peste,
- posnemanja profila,
- cementacije, kaljenja, pranja in popuščanja,
- peskanja,
- kalibriranja (klasificiranje peste glede na velikost ozobja),
- trdega brušenja zunanjih in notranjih tečin,
- vizualne kontrole in
- montaže v homokinetičen zglob.

V podjetju se pojavljajo težave pri kontroli deformacije ozobja med kaljenjem. Najbolj pereča v sklopu homokinetičnega zgloba je pesta, saj ima določeno območje (mere preko valjčkov) tolerance le 3,5 stote.

Pri postopkih hladne in toplotne obdelave prihaja do več možnih vzrokov, ki lahko vplivajo na kvaliteto izdelka (predpisane mere).

Če le-te ne dosegamo, sta ključni dve težavi, in sicer:

1. raztros deformacij po toplotni obdelavi in
2. nejasen razlog za nenadne spremembe deformacij.

Prvi je večji od predpisane tolerance zelenega območja, drugi pa se pojavlja tudi pri tripodi.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve diplomskega dela

Namen raziskave je, da poiščemo glavne vplive na deformacije pri termični obdelavi, ki so lahko vzrok našim težavam.

S termično obdelavo lahko kontrolirano vplivamo na velikost deformacije ozobja.

Cilji diplomskega dela so naslednji:

- predstavitev podjetja,
- preizkusi z vzorci v pečeh,
- spremljanje rezultatov meritev,
- analiza podatkov,
- širjenje dobre prakse na ostale tipe pešte in
- na podlagi analize podatkov povečati izkoristek kosov v zelenem tolerantnem območju.

1.3 Predpostavke in omejitve raziskave

Predpostavki :

- razpoložljivost domače in tuje literature in
- razpoložljivost in točnost podatkov v podjetju.

Omejitvi :

- omejen dostop do podatkov,
- praktični del raziskave bo časovno omejen.

1.4 Predvidene metode raziskovanja

- metoda merjenja,
- spreminjanje parametrov,
- primerjava in
- analiza podatkov.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA

2.1 *Predstavitev podjetja GKN*

Podjetje GKN je bilo ustanovljeno leta 1900 pod imenom Guest, Keen & Co. Limited. Kratica je nastala iz prvih črk priimkov treh soustanoviteljev. V sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja so v podjetju GKN odkrili potencial proizvodnje prednjih pogonskih gredi. Po podpisu pogodbe s podjetjem Ford so odprli prvi proizvodni obrat v ZDA. V sklopu podjetja GKN so ustanovili poseben del z imenom GKN Driveline, ki se ukvarja s proizvodnjo pogonskih gredi (Guest, Keen & Nettelfods Driveline, 2008).

V okviru GKN delujejo naslednji oddelki:

- Driveline (avtomobilski),
- Powder Metallurgy (proizvodnja delov s kovinskim prahom),
- Aerospace (letalski) in
- Land Systems (kmetijski sistem)

GKN Driveline je vodilni svetovni proizvajalec CVJ Systems (sistemov homokinetičnega zgloba), AWD Systems (sistemov štirikolesnih pogonov), Trans Axle Solutions (rešitev za menjalnike) in eDrive Systems (električni pogon).

Podjetje GKN Driveline Slovenija, d.o.o., se ukvarja s proizvodnjo transmisijских komponent, ki omogočajo prenos moči iz motorja na kolo. Podjetje je registrirano za proizvodnjo ležajev in zobnikov ter elementov za mehanski prenos energije. Podjetje proizvaja homokinetične zglobe za avtomobilske proizvajalce: BMW Mini, Fiat, Renault, Toyota, Suzuki, Opel, (Fiat Avtomobili Srbija), za ostala GKN Driveline podjetja ter za trg rezervnih delov (Aftermarket).

Podjetje je organizirano v obliki družbe z omejeno odgovornostjo. Podjetje GKN Driveline Slovenija d.o.o. ima svoj sedež na Rudniški cesti 20 v Zrečah.

2.2 *Proizvodni program*

Proizvodni program podjetja GKN Driveline Slovenija, d. o. o. je namenjen avtomobilskim proizvajalcem osebnih vozil na sprednji pogon kakor tudi ciljnim skupinam na trgu rezervnih delov. Proizvodni program podjetja obsega izdelke, ki služijo za prenos energije iz motorja na kolo. Te komponente so: polgredi, homokinetični zglobovi, tripode, peste in kletke.

Proizvodni program podjetja je namenjen proizvajalcem osebnih vozil na sprednji pogon. Vključuje tri izdelke (Guest, Kenn & Nettlefolds Driveline, 2008):

- polgredi:

Polgred omogoča prenos moči z motorja na kolesa ter določa krmilni kot ter prilagaja gibanje vzmeti in preprečuje vibracije. Sestavljena je iz povezovalne osi, homokinetičnega zgloboja na strani kolesa in tripode, ki je nameščena na strani menjalnika. Omenjene ključne komponente imajo velik pomen na dinamiko vozila, njegov zvok, vibracije, življenjsko dobo, učinkovitost in prihranek pri teži, ter njihovo ključno vlogo pri povečevanju dovoda moči, delovanju in udobju.

Polgred povezuje menjalnik s pogonskimi kolesi, ločimo pa dve različici: in sicer levo in desno polgred. Slika 1 prikazuje polgred.



Slika 1: Polgred

Vir: Lasten

- homokinetične zglobne (AC):

Homokinetični zglobovi so primerni za vozila z manjšo nosilnostjo. Omogočajo maksimalni zgibni kot 47 stopinj in izpolnjujejo kriterije krmiljenja in gibanja vzmeti. So najprimernejši izbor za namestitev na kolesno stran polgredi.

Homokinetični zglob sestavljajo štiri različne komponente: pesta, kletka, kroglice in čep.

Na sliki 2 je prikazan razstavljen homokinetični zglob.

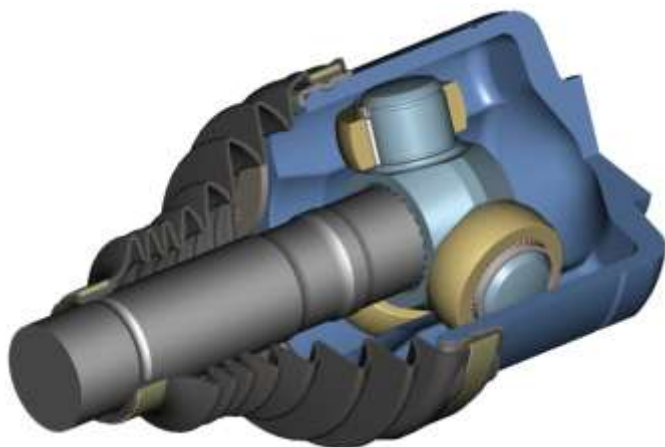


Slika 2: Homokinetični zglob

Vir: Interni vir GKN Driveline Slovenija, d.o.o.

- tripode (GI):

Tripoda je nameščena na polgredi na strani, kjer je menjalnik. Primerna je za večino srednje zmogljivih vozil. Omogoča maksimalni zgibni kot 23 stopinj, aksialni pomik 50 mm, ter zagotavlja nizek nivo hrupa. Na sliki 3 je prikazan položaj tripode.



Slika 3: Položaj tripode

Vir: Interni vir GKN Driveline Slovenija, d. o. o.

Glavni kupci so:

- avtomobilski proizvajalci (BMW Mini, Fiat, Renault, Toyota, Opel, Fiat Avtomobili Srbija in druga GKN Driveline podjetja).

- GKN Driveline Industrial and Distribution Services (trg rezervnih delov - Aftermarket).

Za GKN Driveline Slovenija d. o. o. je značilno, da posluje po najvišjih standardih kvalitete ter proizvaja visoko kakovostne izdelke.

2.3 **Kakovost**

Načela kakovosti

V GKN Driveline Slovenija d. o. o. se zavedamo pomembnosti kakovosti za zagotavljanje zadovoljstva odjemalcev, zato so najpomembnejši cilji našega podjetja:

- zadovoljstvo in preseganje pričakovanj odjemalcev,
- nenehno izboljševanje učinkovitosti sistema vodenja kakovosti,
- postavitev merljivih ciljev in redno spremljanje učinkovitosti z ukrepanjem v primeru odstopanj,
- spodbujati in pomagati našim zaposlenim, da maksimalno uresničijo svoje potenciale,
- doseči operativno odličnost,
- prispevati pozitivno naši lokalni skupnosti,
- izpolnjevanje zahtev zakonodaje in pravnih zahtev,
- ustvariti varno in zdravo delovno okolje,
- rasti in realizirati dobiček in
- zagotavljanje nadaljnje rasti in pridobitev novih poslov.

(Vodnik za zaposlene, str. 15, GKN Driveline Slovenija, d. o. o., 2010)

Vzpostavljen sistem kakovosti ter sistem varovanja okolja in poklicnega zdravja in varstva pri delu je predmet zunanjih presoj s strani zunanje registrirane institucije. Prav tako s sistemom poklicnega zdravja in varnosti zagotavljamo vsem zaposlenim in tistim, ki delajo v našem imenu in pod nadzorom naše organizacije, takšne delovne pogoje, ki ustrezajo vsem zakonskim zahtevam, ki ohranjajo delavčevo zdravje in s tem vplivajo na večje zadovoljstvo zaposlenih.

(Vodnik za zaposlene, str. 16, GKN Driveline Slovenija, d. o. o., 2010)

3 TEORETIČNI DEL TOPLOTNA OBDELAVA

3.1 Osnovne lastnosti čistega železa

Specifična teža čistega železa je $7,86 \text{ kp/dm}^3$, tališče pa 1534°C . Do 769°C je železo magnetno, mehko in v suhem zraku obstojno. Železo v vlažni atmosferi ni obstojno in prične kmalu rjaveti. Še posebej je neodporno proti morski vodi.

Iz diagrama je razvidno, da zastoja pri segrevanju in ohlajanju nista pri isti temperaturi. Kristalna struktura železa se med segrevanjem oziroma ohlajanjem železa spreminja. Železo pri normalni temperaturi kristalizira v kubični, prostorsko centrirani mreži. Ta oblika kristalov se imenuje α (alfa) železo. Železo postane pri 769°C nemagnetno, imenujemo ga β (beta) železo. Pri temperaturi 910°C prekristalizira v kubično, ploskovno centrirano mrežo. Ta struktura ostane do 1390°C in se imenuje γ (gama) železo. Pri 1390°C pride do ponovne kristalizacije v kubično, prostorsko centrirano mrežo, to je δ železo, nato se ta oblika ohrani do taljenja. Čistega železa v strojništvu ne uporabljamo, saj je premehko in ima premajhno trdnost (Kuhar, 1980, str. 20, 21).

3.2 Sistem železo – cementit

V toplotno obdelavo jekla je zajeta vrsta postopkov, pri katerih jeklo segrevamo, zadržujemo na določeni temperaturi in ohlajamo z namenom, da spremenimo strukturo in lastnosti jekla. Transformacije v razmerah, ki so blizu ravnotežnim, nam prikazuje binarni diagram.

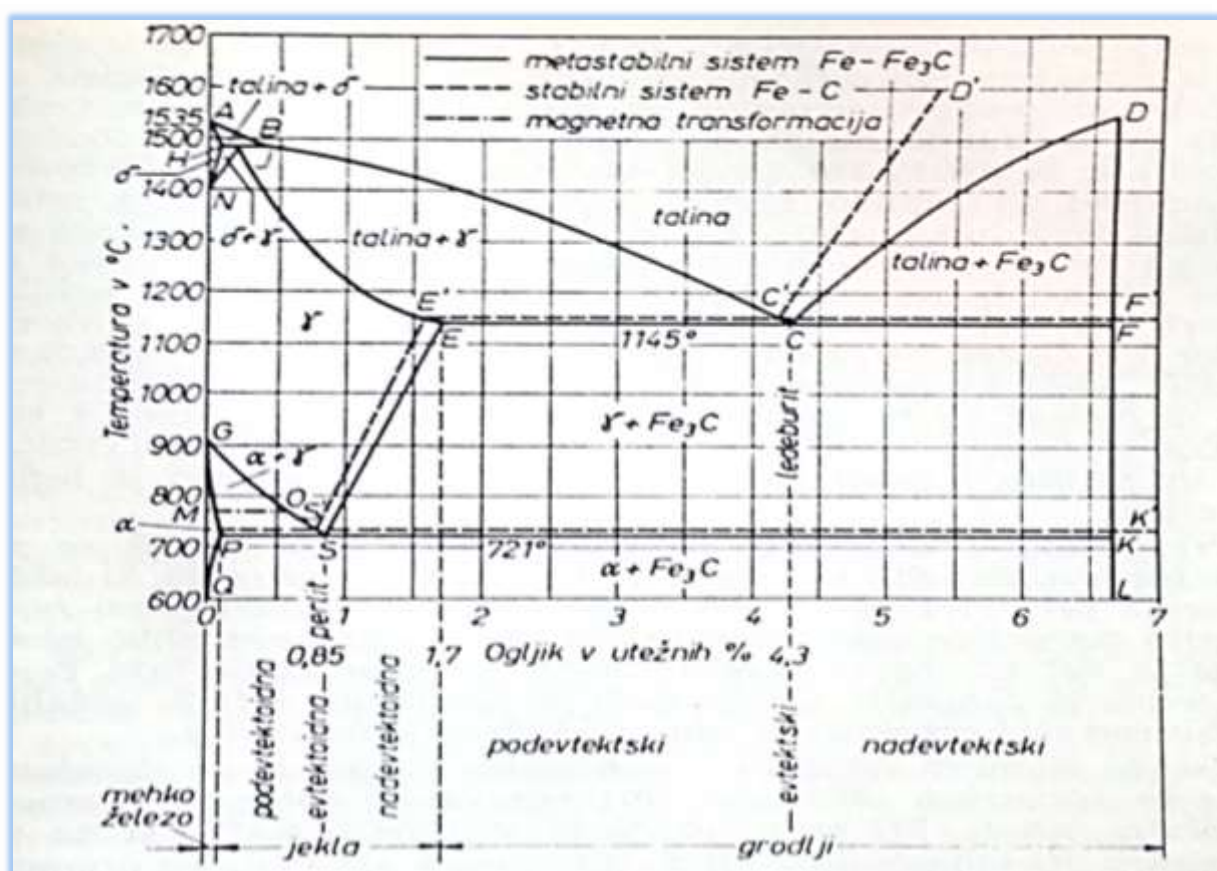
Kadar želimo dobiti takšne ravnotežne strukture, moramo zlitine segrevati ter ohlajati zelo počasi. Kadar pospešujemo segrevanje ali ohlajanje, se difuzijski procesi ne končajo ali sploh ne potekajo. Zaradi tega postane sestava in izgradnja struktur bistveno različna od ravnotežnih. Teorija in praksa toplotne obdelave je osnovana prav na zakonitostih faznih transformacij v neravnotežnih okoliščinah.

Ker gama železo raztaplja ogljik, dobimo pri temperaturah, pri katerih obstaja gama železo, raztopinske kristale kristale gama železa in ogljika. Trdna raztopina, ki jo dobimo, se imenuje avstenit. Ta obstaja samo pri višji temperaturi. Njegova značilnost je, da pri ohlajanju razpade, železo pa se prekristalizira iz ploskovno centrirane mrežice v prostorsko centrirano. V

novi nastali mrežici, v središču kocke, tako ni več prostora za ogljikov atom. Zaradi tega se ogljik izloči iz raztopinskih kristalov in se spoji z železovimi atomi v kemično spojino – cementit (Kuhar, 1980, str. 22).

Cementit je zelo trd, kristalizira v rombskem sistemu, topljivost cementita v železu je majhna.

Slika 4, nam prikazuje celoten sistem stanja železo – cementit. Posamezne točke v diagramu so standardno označene in jih zato ne smemo zamenjevati. Na abscisni osi so nanešeni odstotki cementita, skrajno leva ordinata nam prikazuje čisto železo. Na tej osi lahko očitamo temperature, katere so omenjene pri čistem železu (Kuhar, 1980, str. 22).



Slika 4: Binarni sistem železo-ogljik

Vir: Kuhar, 1980, str.23

S hitrim ohlajevanjem lahko nekatere pramene avstenita podhladimo. Z majhnim povečanjem ohlajevalne hitrosti pri podvtektoidnih jeklih dosežemo najprej to, da se ferit ne more izločiti iz avstenita. Ta se kljub temu da nima evtektoidne sestave, spremeni v perlit. Lamelasti perlit je struktura, ki pri navadnih jeklih, nastane pri normalnih hitrostih ohlajanja. Imenujemo jo tudi

sorbit in troostit. Pri povečanju hitrosti nad spodnjo kritično hitrost ohlajevanja tudi perlitna pramena ne poteče več do kraja. Del podhlajenega avstenita se zato pri nižji temperature spremeni v martenzit.

Martenzit je najtrša struktura, ki nastane pri transformaciji avstenita. Nastala je z brezdifuzijskim preklpom ploskovno centrirane kubične mreže v prostorsko centrirno kubično mrežo, v kateri je prisilno ostal raztopljen ves ogljik. Prisilno raztopljen ogljik povzroča, da se kristalna rešetka ne spremeni v prostorsko centrirano kocko temveč v tetragonalno. Martenzit je prisilna raztopina ogljika v tetragonalnem feritu. Za martenzit je značilna velika trdota (trdota sorazmerna deležu ogljika). Struktura martenzita je igličasta.

Bainit nastane pri večjih podhladitvah, takrat ko postaja gonilna sila za razpad austenite vedno večja, difuznost pa vedno manjša (Strojnotehnološki priročnik, 1986, str. 13).

3.3 Cementacija

Za kaljenje so primerna jekla, ki imajo zadostno količino ogljika. Žilavost jedra je odvisna od količine ogljika. Kadar želimo še bolj žilavo jedro pod trdo površino, jeklo cementiramo. Namen cementacije je, da površino predmeta, ki je izdelan iz maloogljичnega jekla dodatno naočličimo. V tem primeru dobimo na površini dovolj ogljika za nastanek martenzita. Naogljichenje se lahko izvrši samo z difuzijo. Temperatura mora biti takšna, da ima jeklo avstenitno strukturo, saj lahko le-ta raztaplja ogljik. Jekla za cementiranje vsebujejo 0,05 do 0,2 % ogljika, zato so dovolj plastična in žilava. Temperatura za cementacijo je od 850 do 900 °C. Pri tej temperature je difuzija atomov ogljika dovolj velika. Predmete cementiramo v različnih medijih kateri oddajao ogljik – imenujejo se sredstva za cementiranje. Ogljik se na površini predmeta spaja z železom v cementit. Nato prehaja ogljik iz kristalov cementita v trdno raztopino – austenit (Kuhar, 1980, str. 46).

Sredstva za cementacijo so lahko:

- trdna (lesno oglje, koks,...)
- tekoča (zmes soli na bazi cianidov)
- plinasta (generatorski plin, propan, butan,...)

Cementacija s plini

Za cementacijo pridejo v poštev vsi plini, ki pri višjih temperaturah oddajajo ogljik ali ogljikov monoksid. Plin vodimo po ceveh v peči. Izdelke katere želimo cementirati, moramo primerno obesiti v komori peči, tako da ima plin dovolj dostopa iz vseh strani. Cementacija s plini ima veliko prednosti: majhno porabo energije in sredstev za cementiranje, čisto delo,... (Kuhar, 1980, str. 47, 48).

Kaljenje

Kaljenje je postopek, pri katerem jeklo, ki je segreto v avstenitnem območju, ohladimo. Ohladimo ga s hitrostjo, ki je večja od kritične ohlajevalne hitrosti. Dobimo martenzitno oziroma vsaj pretežno martenzitno strukturo, zaradi tega se jeklu poveča trdota. Kaljivost je opredeljena z doseženo trdoto in globino zakaljene plasti. Jekla katera imajo 100 % martenzitno strukturo dosežejo največjo trdoto (66 HRC). Legirni elementi (V,Cr,W,Mo) na doseženo trdoto ne vplivajo. Vplivajo pa na kalilno globino. Kadar je ohlajevalna hitrost tudi v jedru večje od kritične, pomeni da je jeklo prekaljeno (Strojnotehnološki priročnik, 1986, str.17).

Difuzija

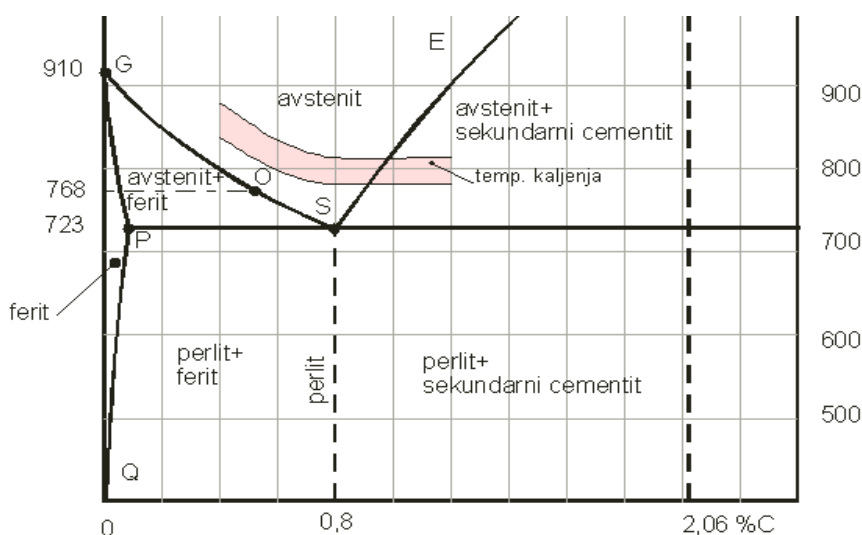
Pojem difuzija označuje prenos snovi v plinih, tekočinah, talinah, amorfnih in kristalnih trdnih snoveh. Termično nihanje atomov v kristalni mreži omogoča difuzijo. Nasprotje temu je konvekcija – transport snovi z gibanjem večjih delov prostornine (premešavanje taline). Difuzija poteka intenzivno nad temperaturo $T > 0.6 T_s$ (T_s – temperatura strjevanja). Difuzija je odločilnega pomena pri vrsti procesov strjevanja in termomehanske obdelave kovinskih materialov (Spaić, Fizikalna metalurgija - prvi del, 2000, str. 100).

Učinek difuzije je pomemben tudi pri odpravljanju neenakosti mikrostrukture. Prisotnost lokalnih koncentracijskih razlik (koncentracijskih gradientov) je najpogostejši vzrok difuzijskih procesov. Samodifuzija je difuzija brez koncentracijskih gradientov. Zraven samodifuzije najdemo difuzijske procese, ki stremijo k ravnotežni koncentraciji oziroma izravnavi termodinamičnih potencialov. Gonilna sila za difuzijo je tudi razlika v kemičnem potencialu, ki je rezultat kompleksnih medatomske sil. Glede na difundiranje atomov poznamo heterodifuzijo (difundirajo atomi primesi) in samodifuzijo (difundirajo atomi osnove).

Difuzijski koeficient ni odvisen samo od temperature. Odvisen je tudi od: tipa kristalne mreže in energije vezi, velikosti difundirajočih atomov in od difuzijske sredine (Spaić, Fizikalna metalurgija - prvi del, 2000, str. 101,105).

Giblјivost atomov je pri višјih temperaturah večјa. Takrat se oglјikov atom lažјe izloči iz kristalne rešetke avstenita, ter se spoјi v Fe_3C . Premikanje atomov v trdni raztopini imenujemo difuzija. Difuzijska hitrost je odvisna od temperature. S podhladitvijo avstenita smo difuzijo oglјikovih atomov preprečili in oglјikovi atomi ostanejo raztoplјeni (prisilno) v kristalni rešetki ferita. Železovi atomi se prekristalizirajo v prostorsko centrirano rešetko, vendar je kristalna rešetka deformirana (zaradi prisotnosti oglјikovega atoma). Nastanejo velike notranje napetosti v kristalni rešetki, ki jih zaznamo kot povečanje trdote. Prisilna raztopina kristalizira v obliki igličasth kristalov in se imenuje martenzit. Avstenit ne začne razpadati pri $723\text{ }^{\circ}\text{C}$, vendar šele pri dosti nižјi temperaturi. Pogoј za nastanek martenzita je zadostna hitrost ohlajanja. Kritično hitrost ohlajanja imenujemo najmanjšo hitrost, pri kateri še nastane martenzit (Kuhar, 1980, str. 33).

Izdelki se v praksi segrevajo od $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad G_S_K črto. Tako da dosežemo segretje sredine materiala nad temperature prekristalizacije tudi pri večјih debelinah. Slika 5 prikazuje področјe kalilnih temperatur glede na delež oglјika. Prikazano področјe velja samo za oglјikova jekla (Kuhar, 1980, str. 34).



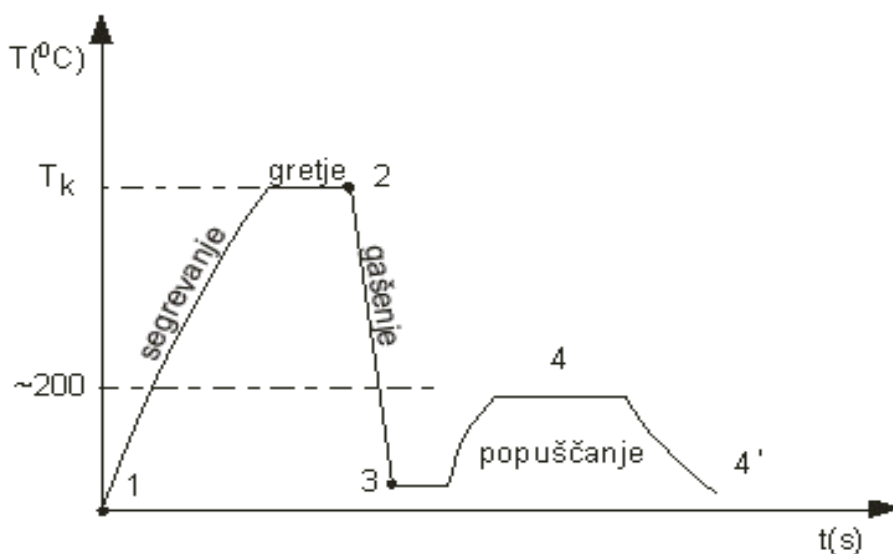
Slika 5: Fazna diagram Fe-Fe₃C in Fe-C

Vir: Strojnotehnološki priročnik, 1986, str. 11

3.4 Popuščanje kaljenega jekla

Kaljena jekla imajo veliko trdoto, majhno udarno žilavost in velike notranje napetosti. So krhka in niso plastična. Posledica hitrega ohlajanja jekla pri kaljenju je, da nastala mikrostruktura (iz avstenita), ni v termodinamičnem ravnotežju. Zato kaljeno jeklo ponovno segrejemo na temperaturno območje, katero omogoča zadostno difuzijo. Mikrostruktura se spremeni in stabilizira (Spaić, Fizikalna metalurgija - drugi del, 2002, str. 320).

Popuščanje imenujemo postopek ponovnega segrevanja na temperaturo pod A_1 . Spremembe v mikrostrukturi so odvisne od temperature in od časa popuščanja. Med popuščanjem se mikrostruktura približuje ravnotežnemu stanju, vendar v praksi praviloma tega nikoli ne doseže. S popuščanjem ustvarimo želeno mikrostrukturo ustreznega vmesnega stanja in s tem uporabne lastnosti. Cementirana in kaljena ogljikova jekla popuščamo pri temperaturah od 140°C do 200°C . Proces toplotne obdelave, ki je sestavljen iz kaljenja in nato popuščanja imenujemo tudi poboljšanje jekla (Spaić, Fizikalna metalurgija - drugi del, 2002, str. 320).



Slika 6: Diagram kaljenja in popuščanja

Vir: Interni viri GKN Driveline Slovenija, d.o.o., 2003

3.5 Deformacije pri toplotni obdelavi

Med procesom toplotne obdelave jekla oz. v nadaljevanju utrjevanju jekla se ne moremo nikoli povsem izogniti deformacijam obdelovanca. Deformacijo med utrjevanjem lahko definiramo kot nereverzibilno oz. trajno in v glavnem nepredvidljivo spremembo oblike in / ali velikosti

obdelovanca med procesom. Gre za verjetno največji problem v operaciji toplotne obdelave, zato potrebuje posebno obravnavo. Lahko se pojavi pred (strojna obdelava) in med toplotno obdelavo, zato je potrebno pri strojni obdelavi upoštevati deformacijo med termično in mere prilagoditi, da dobimo ustrezne dimenzije izdelka po končani toplotni obdelavi. V nekaterih primerih lahko sledi še strojna obdelava (brušenje) po toplotni obdelavi.

V primeru, kjer je obdelovanec hitro ohlajen iz temperature avstenitizacije, da tvori martenzit, se mu spremenijo dimenzije. Ker ima avstenit najmanjšo specifično prostornino, martenzit pa največjo, se zaradi spremembe volumna ustvarijo zelo visoke notranje napetosti. Te notranje napetosti povzročijo plastično deformacijo, kar se odraža v:

- deformirani velikosti (skrčki, raztezki)
- deformirani oblike (upogibanje).

Sprememba volumna zaradi transformacije strukture

Obdelovanec je izpostavljen raztezanju in krčenju ob segrevanju in ohlajevanju. Strukturne spremembe jekla povzročijo spremembe volumna obdelovanca. Tako ima obdelovanec po procesu utrjevanja, kjer iz avstenita nastane martenzit, večji volumen kot v njegovem mehkem stanju.

Sprememba volumna je odvisna od kemijske sestave jekla, temperature utrjevanja, časa pregrevanja in intenzitete kaljenja. Volumen se poveča z zvišanjem vsebnosti ogljika v jeklu.

Deformacije zaradi termičnih vplivov

Deformacije, ki nastanejo zaradi termičnih vplivov, so razmeroma redne v obdelovancu s simetričnim telesom, enakih debelin. Ko je jeklo ogrevano in ohlajeno, se povzročajo tlačne in torzijske napetosti v materialu. To je zaradi razlike temperatur med jedrom in površino.

Te napetosti se v glavnem odražajo s spremembo oblike obdelovanca, nekaj jih je pa zaostalih v materialu in nimajo bistvenega vpliva na deformacije.

Precejšnji vpliv na deformacije ima stopnja ohlajevanja. Bolj kot je ohlajevanje agresivno, večja bo deformacija.

Prav tako ima razlika temperatur med segretim obdelovancem in ohlajevalnim medijem. Z povečanjem temperature obdelovanca, iz katere bo ohlajen, dobimo večje napetosti v materialu in tako povečanje deformacije (K.H. Padhudev, 1988, Handbook of Heat Treatment of Steels, str. 111, 112).

3.6 Merjenje trdote po Vickersu

Definicija trdote: *trdota je odpornost materiala proti vdiranju (vtiskanju) drugega tršega telesa*. Med pojmom *trd* in *mehak* ni točno določene meje. Posebno oblikovano in trdo telo vtiskamo v površino preizkušanca, po razbremenitvi pa je odčitana vrednost po površini ali globini merilo trdote materiala.

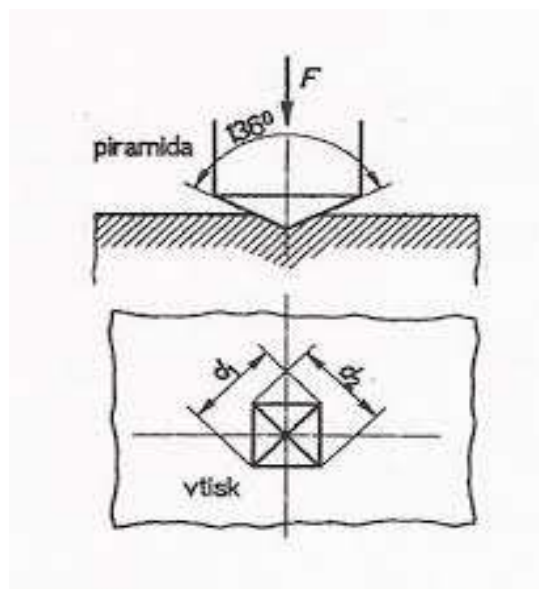
Na površino materiala vtiskamo štiristrano diamantno piramido, katere nasprotne površine oklepajo kot 136° . Trdoto po Vickersu označujemo z HV. Izražena je z razmerjem sile vtiskanja in velikostjo površine nastalega vtiska.

F = sila vtiskanja (N)

S = površina odtiska (mm^2)

d = srednja vrednost dolžin obeh diagonal odtiska (mm)

(Metalurški priročnik, 1972, str. 157, 158).



Slika 7: Preizkus trdote po Vickersu

Vir: Metalurški priročnik, 1972, str. 158

4 PROCES IZDELAVE PESTA IN TERMIČNA OBDELAVA - PRAKTIČNI DEL

4.1 *Proces izdelave pesta*

Zaradi težav z deformacijo ozobja peste med kaljenjem smo želeli poiskati dejavnike, ki najbolj vplivajo na končni rezultat. Na končno dimenzijo peste med procesom hladne in kasneje toplotne obdelave vpliva več dejavnikov.

Tehnološki postopek izdelave peste AC 1500i je naslednji:

- a) Odkovkom peste postružimo izvrtino in utor (sliki 8, 9).



Slika 8: Odkovek

Vir: Lasten



Slika 9: Pesta s postruženo izvrtino in utorom

Vir: Lasten

- b) Posnemanje profila peste se opravi na stroju Varinelli BU-16. Velikost igle se določi glede na trdo mero po termični obdelavi. Za potrebe naših testov smo vse vzorce (100 kosov) posneli z isto iglo št. 25. Z novo posnemovalno iglo lahko posnamemo tudi do 10000 kosov. Slika 10 prikazuje pesto s posnetim ozobjem.



Slika 10: Posneto ozobje

Vir: Lasten

Med procesom posnemanja se vsak stoti kos v celoti premeri in preveri ozobje na koničnem kalibru (slika 11). Tako smo za naše vzorce dobili prve (mehke) mere.



Slika 11: Konični kaliber pri posnemanju

Vir: Lasten

Nato se posnete pešte naložijo na kalilne palice, ki se nahajajo na šaržirni pripravi, kot je razvidno na sliki. Kalilne palice in šaržirne priprave so narejeni iz materialov, ki so odporni na visoke temperature. Najpogostejši materiali, ki se uporabljajo, so narejeni na osnovi CrNi ali CrNiSi jekla. Med življenjskim ciklom morajo tako prenesti vpliv visoke temperature, temperaturnih razlik in dinamične ter statične obremenitve.

Poznamo varjene in lite šaržirne priprave. V našem podjetju uporabljamo oboje. Glavna prednost litih je dobro prenašanje temperaturnih obremenitev in deformacij, kar se kaže v njihovi daljši življenjski dobi. Slabost varjenih pa so notranje napetosti zaradi varjenja in raztezanje, ki nastane pri različnih temperaturah. Tako se pojavi utrujanje materiala, nastanejo pa tudi razpoke. Takšno šaržirno pripravo je posledično potrebno popraviti, kar pa ni dolgotrajna rešitev. Prednost varjene šaržirne priprave so predvsem nizki stroški. Na sliki 12 so prikazani kosi pešte na šaržirni napravi.



Slika 12: Pripravljen material za termično obdelavo

Vir: Lasten

c) Tako pripravljen material potuje skozi proces termične obdelave, ki je sestavljen iz: predpranja, cementacije, kaljenja, pranja in popuščanja. Predpranje je postopek, kjer v Ipsen pralnem stroju peremo kose dvajset minut, da jih razmastimo, preden jih damo v peč, kar kaže slika 13. Pralni stroj ima bazen z 2500 litri vode, v kateri je prisotno 3 % pralnega sredstva HSE



Slika 13: Ipsen pralni stroj za predpranje

Vir: Lasten

Cementacija

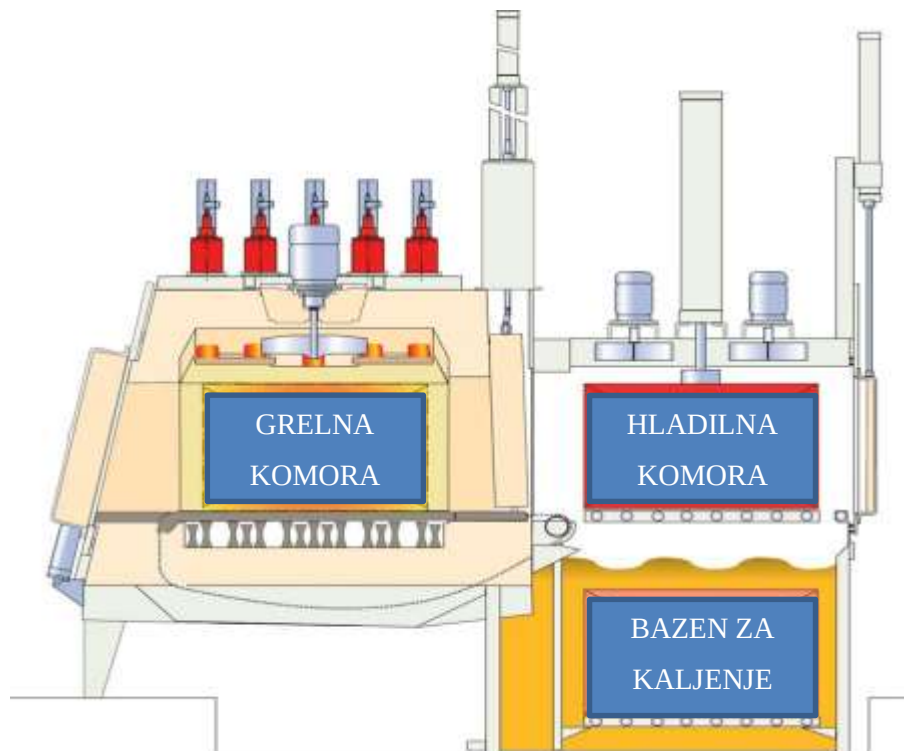
V našem podjetju za postopek cementacije uporabljamo šest kalilnih peči, ki so si po delovanju podobne, vendar pa kljub temu med njimi obstajajo določene razlike. Te so:

- velikost peči (komore)
- velikost bazena kalilnega olja
- vse so ogrevane z zemeljskim plinom razen peči Ipsen 6, ki je električna.

Peči so dvokomorne, polnijo pa se preko grelne komore (sprednja vrata), praznijo pa preko ohlajevalne komore (zadnja vrata). Posebnost je peč Ipsen 5, kjer se na isti strani šaržira in dešaržira. Po končani toplotni obdelavi v grelni komori se šarža po dveh brezkončnih verigah prepelje v ohlajevalno komoro, v kateri se nato ohlaja v atmosferi ali oljni kopeli.

Pomembno je, da med procesom pozorno spremljamo delovanje sonde. Njeno pravilno delovanje je odvisno od: točno nastavljene korekcije sonde, optimalno nastavljenega C-potenciala, rednega razplinjenja peči ter pranja sonde.

Nepravilno delovanje povzroča sajavost kosov, preveč zaostalega avstenita v utrjeni plasti (preveč zaprta sonda) ali površinsko razogljichenje (luščenje) kosov ter neustrezno nizka globina utrjene plasti in površinska trdota (preveč odprta sonda). Za dodatno preverjanje atmosfere v grelni komori merimo rosišče v peči, kjer ugotavljamo, kako je nasičena atmosfera z ogljikom. Shema peči na sliki 14 nam v prerezu prikazuje dvokomorno šaržirno peč.



Slika 14: Dvokomorna šaržna peč

Vir: Interni vir GKN Driveline Slovenija d.o.o. 2007

Po končanem kaljenju v olju šaržo operemo in posušimo v drugem Ipsen pralnem stroju (slika 15), ki ima 4500 litrski bazen z vodo in vsebuje 3 % pralnega sredstva HSE.



Slika 15: Ipsen pralni stroj

Vir: Lasten

Po drugem pranju sledi popuščanje, kjer v dveh pečeh popuščamo material pri 180 °C, tako da zmanjšamo notranje napetosti.

Po procesu termične obdelave sledi peskanje v peskalnem stroju Gostol, kar prikazuje slika 16. S peskanjem odpravimo srh na utoru in površino materiala še dodatno utrdimo. Na sliki 17 so naši vzorci (9 kosov) po obdelavi v peskalnem stroju.



Slika 16: Ipsen peskalni stroj

Vir: Lasten



Slika 17: Peskana pesta

Vir: Lasten

Naslednji korak je kalibriranje, kjer klasificiramo pesto glede na velikost ozobja. Slika 18 prikazuje sortirni stroj Disgapre, ki je namenjen klasificiranju ozobja na liniji pesto. Stroj je programsko krmiljen.



Slika 18: Sortirni stroj Disgapre

Vir: Lasten

- d) Nato sledita operaciji trdo zunanje brušenje in brušenje tečin, ki se izvajata na strojih EMAG VSC 315 KBG in VSC 250 KBG, kar vidimo na sliki 19.



Slika 19: Trdo zunanje brušenje in brušenje tečin

Vir: Lasten

Na sliki 20 je pesta po operaciji trdega brušenja.



Slika 20: Zunanje brušenje in brušenje tečin.

Vir: Lasten

Nato se izvede vizualna kontrola.

- e) Zadnja operacija je montaža v kinetični zglob. Na sliki 21 je prikazan sestavljen homokinetični zglob, ki ga sestavljajo iz čep, kletka, kroglice in pesto.



Slika 21: Homokinetični zglob

Vir: Lasten

4.2 Termična obdelava

4.2.1 Cementacija in kaljenje

Proces cementacije in kaljenja je sledeč:

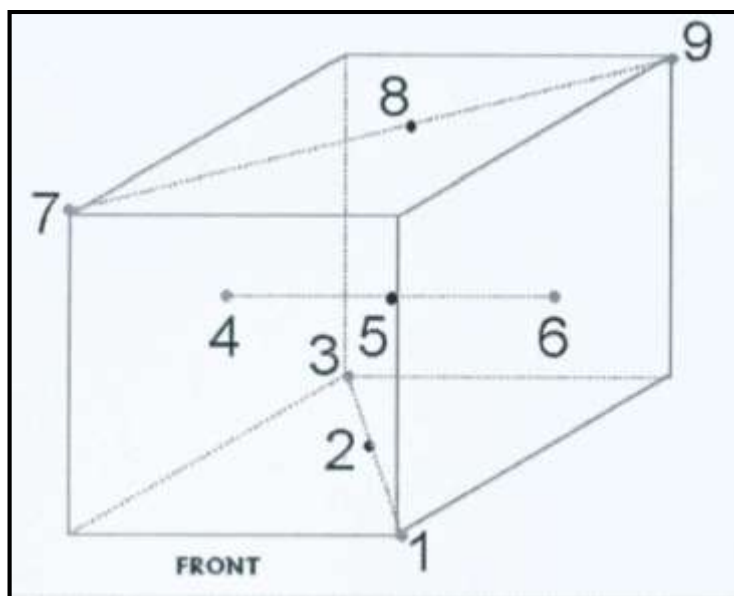
- induktivno kaljenje,
- cementiranje,
- karbonitriranje in
- popuščanje.

S tehnološkim postopkom cementacije toplotno obdelujemo peste, tripode in kletke.

Vsi trije elementi so med vožnjo izpostavljeni velikim obremenitvam ter trenju. Tripoda skrbi za prenos moči iz tulpe na polgred, pesta skrbi za prenos moči iz gredi na čep, kletka pa postavlja kroglice, ki omogočajo pomike čepa glede na pesto. S postopkom cementacije jih toplotno obdelamo in jim tako zagotovimo žilavost in obrabno obstojnost.

Material za pesto je 16MnCr5. To je jeklo z 0,14-0,19 % C, 1,00-1,30 % Mn in 0,80-1,10 % Cr. S postopkom cementacije moramo pesti zagotoviti trdoto 58^{+4} HRC ter cementacijsko globino $1,1^{+0,5}$ mm.

Za potrebe naše raziskave smo pripravili sto kosov peste, na katerih je bilo posneto ozobje z isto iglo. Številka igle je bila 25. Kosi, ki smo jih uporabili v raziskavi, so izhajali iz metalurške šarže 181107. Pred postopkom toplotne obdelave smo pesti (devet vzorcev) izmerili ozobje z vedno istim koničnim kalibrom 20VII20. Izjema je bila šarža, kateri smo izmerili ozobje s kalibrom 3VII20. Iz položaja peste na kalibru smo določili mero preko valjčkov in širino ozobja. Tako smo dobili mehke mere preko valjčkov ozobja. Naših devet vzorcev smo cementirali z redno šaržo, le da so bili ločeni od ostalih z bakreno podložko. Vzorce smo naložili na šaržirno pripravo tako, da smo razporedili naših devet kosov po celi pečni šarži. Tako smo zajeli delovanje grelna komora v celoti. Vsak vzorec smo pred tem oštevilčili od 1 do 9. Naredili smo šest šarž, na katerih smo vedno imeli devet vzorcev naloženih po shemi, kot nam prikazuje slika 22.



Slika 22: Prikaz postavitve vzorcev na pečni sarži

Vir: Interni vir GKN Driveline Slovenija, d.o.o., 2008

Na sliki 23 je prikazano, kako smo med redno šaržo namestili vzorec št. 6.



Slika 23: Prikaz postavitve vzorcev na pečni sarži

Vir: Lasten

Tako naložena sarža ima 2550 kosov. V Ipsen pralnem stroju št.1 smo izvedli predpranje, ki je trajalo 25 minut, prisotno pa je bilo prisotno 1,5 % pralnega sredstva HSE.

Na podlagi nastavitvenih parametrov za postopek cementacije smo program vnesli v računalnik in kose saržirali v peč. Pri naših preizkusih smo vedno uporabljali isto peč Ipsen 4 (TQFR-10(S) – GRM). Slika 24 prikazuje sprednji del peči Ipsen 4.



Slika 24: Peč Ipsen 4

Vir: Lasten

V prvem segmentu smo šaržo v grelni komori segrevali do temperature 940°C , ta postopek pa je trajal približno šestdeset minut.

Nato je računalnik preklopil na predgretje (drugi segment), kjer je bila šarža deset minut izpostavljena temperaturi 940°C .

Vsebnost ogljika v prvem in drugem segmentu je bila 0,40 %.

V tretjem segmentu smo material v grelni komori segreli z 940 na 950°C , vsebnost ogljika pa je narasla na 0,90 %.

Naslednji korak je ogljičenje. Pesta se je v tem delu ogljičila približno 640 minut. Takrat je C-potencial znašal 0,90 %.

Nato smo pesto pustili štirideset minut na temperaturi 950°C , kjer se je izvršila difuzija. V tem delu je znašal C-potencial 0,75 %.

Naslednji korak je hlajenje.

Nas je najbolj zanimal ta segment, saj so bile vse raziskave vezane na ta dva vzorca ohlajanja, opravili pa smo tudi šest šarž z vzorci. Pri treh šaržah se je material hladil v hladilni komori, pri drugih treh pa se je šarža hladila v grelni komori, iz katere je nato potovala naravnost v kalilni segment.

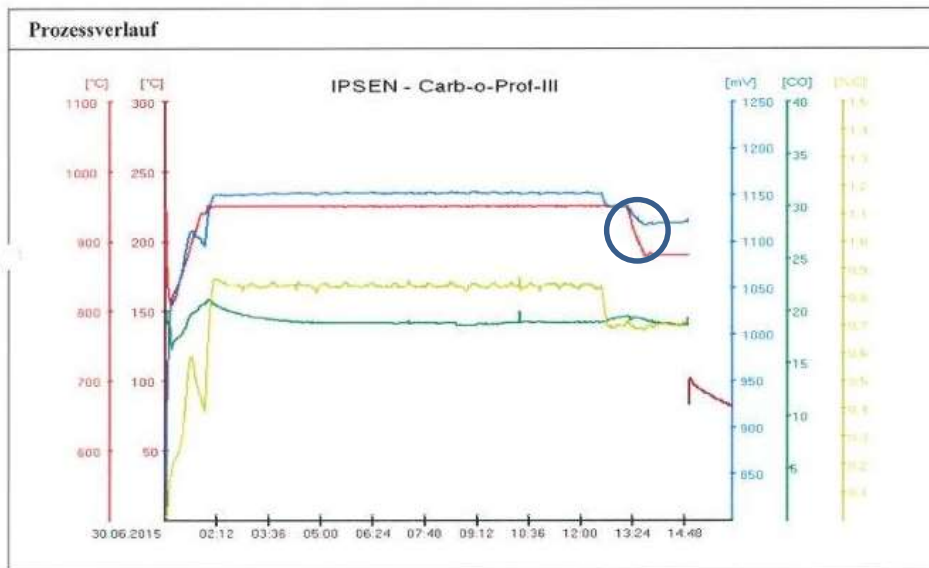
Pri šestem segmentu hlajenja smo uporabili dva načina:

- a) hlajenje v grelni komori
- b) hlajenje v hladilni komori

V prvem primeru se je šarža po cementaciji in difuziji peljala naravnost v kalilni segment. Ta del torej predstavlja hlajenje šarže v grelni komori, kjer smo znižali temperaturo na 880 °C. Segment je trajal približno trideset minut. Šaržo smo nato držali na kalilni temperaturi sedemdeset minut (v šestem in sedmem segmentu je bil C-potencial 0,75 %). V osmem segmentu se je potopila v olje, kjer je bila trideset minut. Za kaljenje smo uporabili olje Durixol W 25.

Slika 25 nam prikazuje protokol cementacije in kaljenja v prvem primeru.

Segment:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	
Status:	Heating	Holding	Heating	Holding	Holding	Cooling	Holding					
Temperatur:	940	940	950	950	950	880	880	880				°C
CP-Status:	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON					%C
C-Rand:	0,40	0,40	0,90	0,90	0,75	0,75	0,75	0,80				
Dauer:	54	10	2	639	40	29	71				845	min
Abschreckart:	Oil					ÖlTemperatur:		83 °C				



Slika 25: Izpisek iz peči 1. primer (brez zanke)

Vir: Interni vir GKN Driveline Slovenija,d.o.o., 2015

Legenda:

Napetost sonde v mV

Temperatura toplotne obdelave

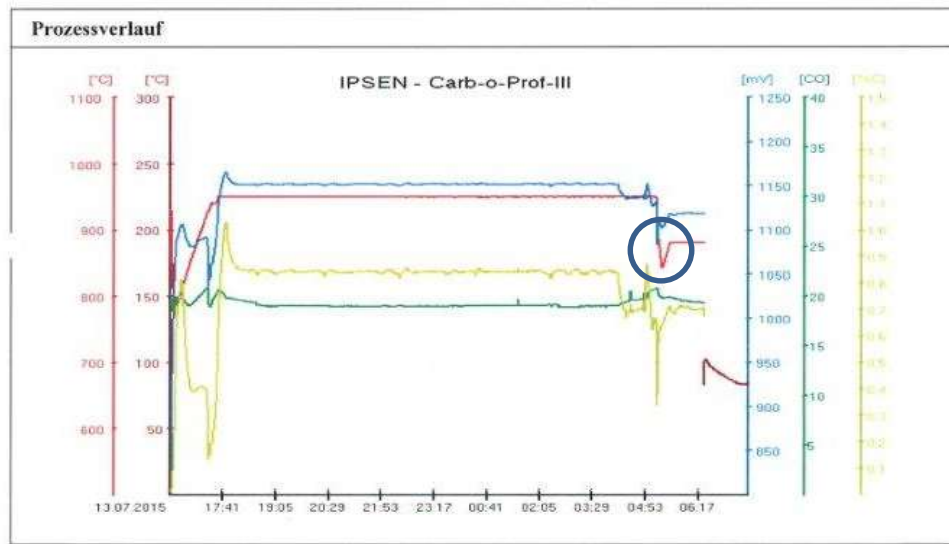
% ogljikovega monoksida v atmosferi

% ogljika v atmosferi

Drugi primer prikazuje, kako po procesu cementacije, ki se izvaja na 950 °C, peljemo šaržo v hladilno komoro. Tam temperatura šarže pade na okoli 700 °C. V tem segmentu dobimo bolj fino zrno. Po GKN standardu je predpisano, da mora biti zrno večje od 5 (standard ASTM e-112). Nato se šarža pelje nazaj v grelno komoro da se segreje na kalilno temperaturo 880 °C. Ta sedmi segment traja približno 70 minut. V osmem segmentu se je šarža, segreta na kalilno temperaturo, zapeljala iz grelne komore na dvigalo, se spustila v kalilno olje in se kalila trideset minut. Ko je bila šarža v olju, je morala delovati črpalka in mešalci za hlajenje olja, v nasprotnem primeru pa kosi ne bi bili niso enakomerno zakaljeni. Zaradi tega bi lahko prišlo do slabe strukture v materialu in do neustreznih deformacij.

Slika 26 nam prikazuje protokol cementacije in kaljenja v drugem primeru.

Segment:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	
Status:	Heizen	Halten	Heizen	Halten	Halten	Ext.Kühlen	Halten					
Temperatur:	940	940	950	950	950	880	880	880				°C
CP-Status:	EIN	EIN	EIN	EIN	EIN	EIN	EIN					%C
C-Rand:	0,40	0,40	0,90	0,90	0,75	0,75	0,75	0,80				
Dauer:	61	10	1	640	40	25	71				848	min
Abschreckart:	Öl					Öltemperatur: 83 °C						



Slika 26: Izpisek iz peči 1. primer (brez zanke)

Vir: Interni vir GKN Driveline Slovenija,d.o.o., 2015

Legenda:

Napetost sonde v mV

Temperatura toplotne obdelave

% ogljikovega monoksida v atmosferi

% ogljika v atmosferi

4.2.2 Popuščanje

Po končanem kaljenju pečno šaržo operemo v drugem pralnem stroju s pralnim sredstvom HSE 3 % in odpeljemo na popuščanje. V podjetju imamo na voljo dve peči za popuščanje. Naše vzorce smo popuščali pri istih pogojih:

- temperatura: 180 °C
- čas: dve uri.

Po končanem popuščanju smo kose speskali in opravili smo drugo meritev devetih vzorcev. S tem smo dobili tako imenovane trde mere. Slika 27 prikazuje merjenje ozobja po termični obdelavi.



Slika 27: Meritve na koničnem kalibru po termični obdelavi

Vir: Lasten

4.2.3 Metalografske meritve

Preiskave strukture in velikosti zrn z metalografskim mikroskopom se vršijo v metalografskem laboratoriju. Preiskave vzorcev z metalografskim mikroskopom nam omogočajo analizo mikrostrukture glede na kemično sestavo kovine in njihovih lastnostmi.

Natančno opredeljena mikrostruktura materiala nam omogoča presojo o uporabnih lastnostih in vzrokih morebitnih odstopanj oziroma napak. Pri tem ugotovimo velikost, obliko in porazdelitev kristalnih zrn. Mikroskopske raziskave opravljamo z optičnem mikroskopom, ki poveča sliko do 2.000-krat.

Na sliki 28 je prikazan optični mikroskop Olympus BHM.



Slika 28: Metalografski mikroskop

Vir: Lasten

Obrus pripravimo tako, da izberemo testni vzorec, sledi razrez, brušenje, poliranje in jedkanje.

Površina po končanem poliranju postane zrcalno gladka, vendar mikrostruktura pod mikroskopom še ni vidna. Šele z jedkanjem dosežemo, da postanejo kristalna zrna in kristalne meje ter ostale mikrostrukturne sestavine pri opazovanju z mikroskopom vidne in razpoznavne.

Slik 29 prikazuje, da je pri izvajanju metalografskih meritev na pesti potrebno glede na tip peste izmeriti naslednje karakteristike, ki so specificirane po slikovnem planu toplotne obdelave. Te so:

- trdoto jedra,
- površinsko trdoto tečine in kroglice,
- globino cementacijske plasti in
- trdoto ozobja.



Slika 29: Vzore peste

Vir: Lasten

Za izvajanje teh meritev se uporablja merilna naprava Zwick ZHV-10 (slika30), ki je preko digitalne kamere povezana z računalnikom. Z njo merimo trdoto po Vickersu (HV).



Slika 30: Zwick ZHV-10

Vir: Lasten

Vse termično obdelane šarže, na katerih so bili naši vzorci, smo izmerili na podlagi slikovnega plana. Tam so določene tolerance za pesto 1500i, in sicer:

- globine cementacijske ali karbonitrirane plasti od 1,1 - 1,6 mm,
- površinske trdote od 58 – 63 HRC,
- trdoto jedra 220 – 450 HV10 in
- velikost zrna ≥ 5 .

Maksimalna napaka odčitavanja je lahko $\pm 0,005$ mm.

5 REZULTATI IN DISKUSIJA

V tabeli 1, 2 in 3 so predstavljeni rezultati testov 1, 2 in 3, narejenih z programom brez zanke kot je opisano v poglavju »cementiranje, kaljenje« (hlajenje v grelni komori). Simboli v vseh tabelah predstavljajo:

- poz.: položaj oštevilčenih vzorcev od 1 do 9 (opis v poglavju 4.2.1)
- MM: mehka mera (pred toplotno obdelavo)
- MPV: trda mera (po toplotni obdelavi)
- skrčec: interni izraz za velikost deformacije
- srednja vrednost: srednja vrednost vseh meritev
- raztros: razlika med največjim in najmanjšim izmerjenim skrčkom

Tabela 1: Test številka 1 merjeno brez zanke

poz.	MM	MPV (mm)	TM	MPV (mm)	skrčec (mm)
1	142,5	24,5118	35	24,4185	0,0932
2	147,5	24,5153	67,5	24,4435	0,0718
3	145	24,5135	55	24,4355	0,0780
4	142,5	24,5118	47,5	24,4295	0,0823
5	140	24,5100	62,5	24,4405	0,0695
6	140	24,5100	50	24,4320	0,0780
7	140	24,5100	37,5	24,4203	0,0897
8	142,5	24,5118	35	24,4185	0,0933
9	140	24,5100	35	24,4185	0,0915
srednja vrednost					0,0830
raztros					0,0238

Vir: Lasten

- globina cementacijske plasti: 1,20 mm
- površinska trdota: 60,3 HRC
- trdota jedra: 420 HV10
- velikost zrna: 5-7

Tabela 2: Test številka 2 merjeno brez zanke

poz.	MM	MPV (mm)	TM	MPV (mm)	Skrček (mm)
1	150	24,5710	65	24,4530	0,1180
2	150	24,5170	72,5	24,4475	0,0695
3	150	24,5170	50	24,4320	0,0850
4	150	24,5170	30	24,4150	0,1020
5	150	24,5170	45	24,4270	0,0900
6	150	24,5170	42,5	24,4245	0,0925
7	145	24,5135	25	24,4100	0,1035
8	150	24,5170	32,5	24,4168	0,1002
9	150	24,5170	35	24,4185	0,0985
srednja vrednost					0,0955
raztros					0,0485

Vir: Lasten

- globina cementacijske plasti: 1,38 mm
- oovršinska trdota: 60 HRC
- prdota jedra: 413 HV10
- velikost zrna: 8

Tabela 3: Test številka 3 merjeno brez zanke

poz.	MM	MPV (mm)	TM	MPV (mm)	skrček (mm)
1	145	24,5135	50	24,4320	0,0815
2	140	24,5100	62,5	24,4405	0,0695
3	145	24,5135	35	24,4185	0,0950
4	142,5	24,5117	55	24,4355	0,0762
5	140	24,5100	50	24,4320	0,0780
6	145	24,5135	42,5	24,4245	0,0890
7	145	24,5135	22,5	24,4075	0,1060
8	145	24,5135	32,5	24,4168	0,0967
9	145	24,5135	25	24,4100	0,1035
srednja vrednost					0,0884
raztros					0,0365

Vir: Lasten

- globina cementacijske plasti: 1,22 mm
- površinska trdota: 59 HRC

- trdota jedra: 400 HV10
- velikost zrna: 7-8

Srednje vrednosti skrčkov prvih treh testov brez zanke so od 0,083 mm do 0,0955 mm. Raztros se giblje med 0,0238 mm do 0,0485 mm. Tabele 4, 5 in 6 predstavljajo rezultate testov 4, 5 in 6 narejenih s programom z zanko (hlajenje v hladilni komori), kateri je opisan v poglavju »cementacija in kaljenje«.

Tabela 4: Test številka 4 merjeno z zanko

poz.	MM	MPV (mm)	TM	MPV (mm)	skrček (mm)
1	130	24,5120	75	24,4500	0,0620
2	130	24,5120	70	24,4450	0,0670
3	130	24,5120	60	24,4350	0,0770
4	130	24,5120	75	24,4500	0,0620
5	130	24,5120	75	24,4500	0,0620
6	130	24,5120	60	24,4350	0,0770
7	130	24,5120	65	24,4400	0,0720
8	130	24,5120	70	24,4450	0,0670
9	130	24,5120	75	24,4500	0,0620
srednja vrednost					0,0676
raztros					0,0150

Vir: Lasten

- globina cementacijske plasti: 1,21 mm
- površinska trdota: 60,5 HRC
- trdota jedra: 400 HV10
- velikost zrna: 7-8

Tabela 5: Test številka 5 merjeno z zanko

poz.	MM	MPV (mm)	TM	MPV (mm)	skrček (mm)
1	150	24,5170	70	24,4450	0,0720
2	150	24,5170	60	24,4390	0,0780
3	150	24,5170	55	24,4355	0,0815
4	150	24,5170	65	24,4420	0,0750
5	145	24,5135	65	24,4420	0,0715
6	145	24,5135	70	24,4450	0,0685
7	150	24,5170	55	24,4355	0,0815
8	150	24,5170	55	24,4355	0,0815
9	150	24,5170	50	24,4320	0,0850

srednja vrednost 0,0771

raztros 0,0165

Vir: Lasten

- globina cementacijske plasti: 1,18 mm
- površinska trdota: 60,5 HRC
- trdota jedra: 380 HV10
- velikost zrna: 7-8

Tabela 6: Test številka 6 merjeno z zanko

poz.	MM	MPV	TM	MPV	skrček
1	145	24,5135	55	24,4355	0,0780
2	147,5	24,5153	50	24,4320	0,0833
3	145	24,5135	55	24,4355	0,0780
4	145	24,5135	55	24,4355	0,0780
5	147,5	24,5153	60	24,4390	0,0763
6	145	24,5135	45	24,4270	0,0865
7	145	24,5135	45	24,4270	0,0865
8	145	24,5135	42,5	24,4245	0,0890
9	145	24,5135	47,5	24,4295	0,0840

srednja vrednost 0,0822

raztros 0,0127

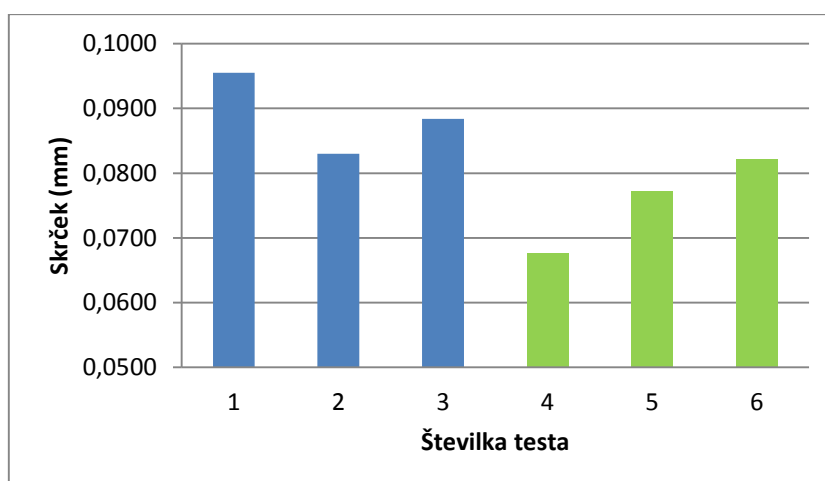
Vir: Lasten

- globina cementacijske plasti: 1,40 mm
- površinska trdota: 60,5 HRC
- trdota jedra: 428 HV10
- velikost zrna: 8

Srednje vrednosti skrčkov se gibljejo med 0,0676 do 0,0822 mm. Raztros deformacij se giblje med 0,0127 do 0,0162 mm. Iz rezultatov tabel je razvidno, da imajo testi, narejeni z zanko, 4, 5 in 6 manjše srednje vrednosti velikosti skrčkov kot testi, narejeni brez zanke, 1, 2, in 3.

Tudi raztros sledi istemu trendu, le da je razlika še bolj razvidna. Ta trend je razviden iz grafov 1 in 2.

Graf 1 nam prikazuje trend skrčka od testa.



Graf 1: Skrčki glede na posamezne teste

Vir: Lasten

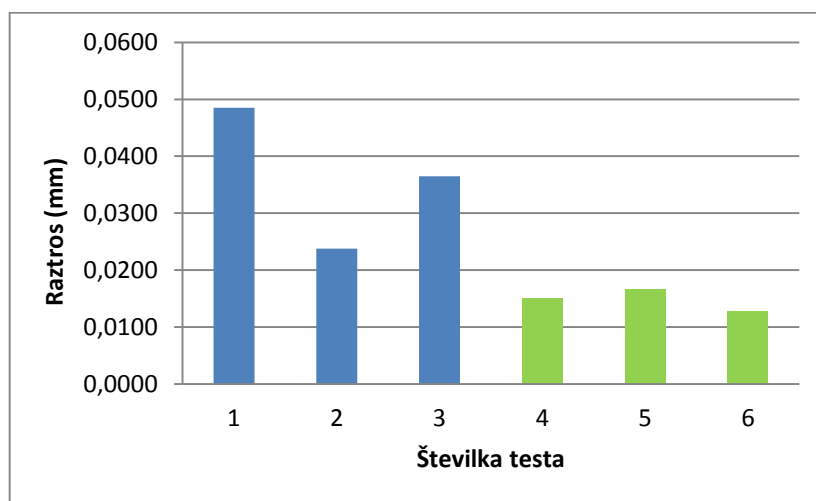
Legenda:

1, 2 in 3 prikazuje opravljene teste brez zanke

4, 5 in 6 prikazuje opravljene teste z zanko

Iz grafa je razvidno, da je vrednost modrih stolpcov, ki predstavljajo teste opravljene brez zanke, višja kot zelenih, ki predstavljajo teste, opravljene z zanko.

Graf 2 predstavlja odvisnost vrednosti raztrosa.



Graf 2: Vrednost raztrosa pri posameznih testih

Vir: Lasten

Legenda:

1, 2 in 3 prikazuje opravljene teste brez zanke

4, 5 in 6 prikazuje opravljene teste z zanko

Iz grafa je razvidno, da je vrednost modrih stolpcev, ki predstavljajo teste opravljene brez zanke, višja kot zelenih, ki predstavljajo teste, opravljene z zanko.

6 ZAKLJUČEK

Z rešitvijo, ki je navedena v diplomski nalogi, smo lahko zadovoljni. V delu so teoretične razlage podprte s praktičnimi testi. Naš cilj je bil, da ugotovimo razlog nenadne spremembe deformacije in da zmanjšamo raztros deformacij ozobja na tolerančno območje. Osredotočili smo se na slednjega.

Našim vzorčnim pečnim šaržam smo omogočili iste pogoje, tako da smo vse vzorce vzeli iz ene metalurške šarže, posneli z eno posnemalno iglo, ter jih oštevilčene namestili na enaka mesta po shemi.. Vse vzorčne kose smo dvakrat merili s koničnim kalibrom, pred procesom toplotne obdelave in po zaključenim procesom toplotne obdelave. Vse meritve smo dokumentirali.

Glavna ugotovitev pridobljena iz teorije in prakse je, da lahko imamo vpliv na deformacijo ozobja pešte, kar smo tudi dokazali. Deformacijo lahko zmanjšamo in povečamo, kar pomeni manjšo odvisnost od strojne obdelave pred kaljenjem - posnemanje.

Posledica uvedbe hlajenja materiala v hladilni komori (z zanko) je, zmanjšanje deformacije in raztrosa deformacije ozobja pešte. S tem postopkom bomo v bodoče dobili večji izkoristek dobrih kosov.

S konstantnim spremljanjem in meritvami smo ugotovili vpliv hlajenja na spremembo deformacij. Iz rezultatov meritev je razvidno, da se izmerjene vrednosti raztrosa zmanjšajo in so tudi manjše od tolerančnega območja velikosti ozobja po termični obdelavi pri ohlajevanju z zanko. Način ohlajevanja nima vpliva na površinsko trdoto in globino cementacije kar smo dokazali z metalografsko analizo..

Po termični obdelavi imamo trenutno večji delež kosov za popravilo ozobja s tako imenovanim trdim brušenjem. V bodoče lahko pričakujemo da bo teh kosov bistveno manj in s tem bodo zmanjšani stroški, ki nastanejo zaradi dodatne obdelave.

7 UPORABLJENA LITERATURA IN VIRI

7.1 Literatura

1. Kuhar, A. (1980). *Tehnologija obdelave*. Ljubljana: Univerzum.
2. Padhudev, K.H. (1988). *Handbook of Heat Treatment of Steels*. Tata McGraw – Hill: Publishing Company Limited.
3. Kveder, A., idr. (1972). *Metalurški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
4. Spaić, S. (2002). *Fizikalna metalurgija: zgradba kovinskih materialov, strjevanje kovinskih talin*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta.
5. Spaić, S. (2000). *Fizikalna metalurgija: binarni sistemi, metalografija zlitin*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta.
6. Žvokelj, J. in Kosec, L. (1986). *Kovine v strojništvu. Strojnotehnološki priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

7.2 Viri

1. GKN Driveline Slovenija, d.o.o. Interni viri.
2. Guest, Keen & Nettelfods Driveline, brošura,(2008).
3. Vodnik za zaposlene, brošura, (2010). GKN Driveline Slovenija, d.o.o. Interni vir

8 PRILOGE

Priloga 1: Certifikat kakovosti za metalurško šaržo št. 181107	53
Priloga 2: Tabele za konični kaliber 20 VII 20	54
Priloga 3: Tabele za konični kaliber 3 VII 20	55

Priloga 1: Certifikat kakovosti za metalurško šaržo št. 181107



Fábrica de Vitoria

CERTIFICADO CALIDAD

ISO 9001 - ISO/TS 16949



Producto Fabricado en España

CLIENTE: GEN DRIVE LINE SUMAIA S.A.	O.F.: 1810921
REFERENCIA: 9900106	PEDIDO: 276889-15
ART. CLIENTE: A16D27-B	N° COLADA: 181107
VERSIÓN MAESTRA: 201319	F LAM.: 19.06.2015 (TP)

PRODUCTO SOLICITADO			
14MnCr5 REDONDO BARRA TORNADO SIN TRATAMIENTO TERMICO 27 -0,1/+0,1 mm			
TOLERANCIAS DEL PEDIDO 6.300/7.000 mm NORMAL			
DATOS DE EXPEDICIÓN	N° ALBARÁN: 008061263852.13.383	PAQUETES: 6	UNIDADES: 423

NORMAS Y REESPECIFICACIONES			
GEN-ADD 601001 N 20.08.2007 ; GEN-OTR NMA-006 O 17.12.2009			
GEN-ADD 602102 N - 06.04.2004 ; GEN-OTR 6003203 AN 18.09.2014			
EN 10204 :2004 OCT. 2004 1.1			

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA COLADA									
U.S. N° COLADA: 181107									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Al	N
Min.	0,340	1,000	0,150		0,015	0,800		0,025	0,0100
Max.	0,390	1,300	0,350	0,035	0,025	1,100	0,200	0,040	0,0200
Reg.	0,370	1,090	0,300	0,026	0,019	1,070	0,200	0,030	0,0101
50,000<-D.I. SAEJ406, APP. A(MM.)<-60,000:53,432 2,0000<-RELACIONAL/N2:2,9703									

TEMPERABILIDAD							
U. DURREA, MEC							
	1,5 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	11 mm	13 mm
Min.	41,0	38,0	34,0	31,0	27,0	25,0	24,0
Max.	45,0	43,0	41,0	38,0	34,0	32,0	30,0
Reg.	44,0	42,5	39,5	34,5	31,0	29,5	28,0
Norma JOMINTY (SAE J406-01.07.2009)							

LIMPIEZA (MICROINCLUSIONES)	
Norma (ISO 4967-15.07.2013) ; Tipo/Método (A Lámina II) ; DS:0,5 ; A(f):2 ; A(g):0 ; B(f):1,5 ; B(g):0,5 ; C(f):0 ; C(g):0 ; D(f):0,5 ; D(g):0	
LIMPIEZA (MACROINCLUSIONES)	
Macroinclusiones: Sin exigencia de valores. 2	

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS COMO SE SUMINISTRA EL MATERIAL (ENSAYOS)
Dureza (100/235 HB): 202/238 HB

OTROS ENSAYOS
Retracción: 0.8% ; Descarbonación: Total + Parcial 0 mm ; Norma (ISO 643-15.07.2003)
Tamaño de grano: Austenítico 7 ; Segregación de Carbono, tamaño de broca 3 mm. <- 9 %
Radiactividad: <- 0,25 Bq/gr

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
Control 100 % defectos superficiales. Bien ; Ausencia de defectos internos garantizada por proceso
Control 100 % entintado. Bien

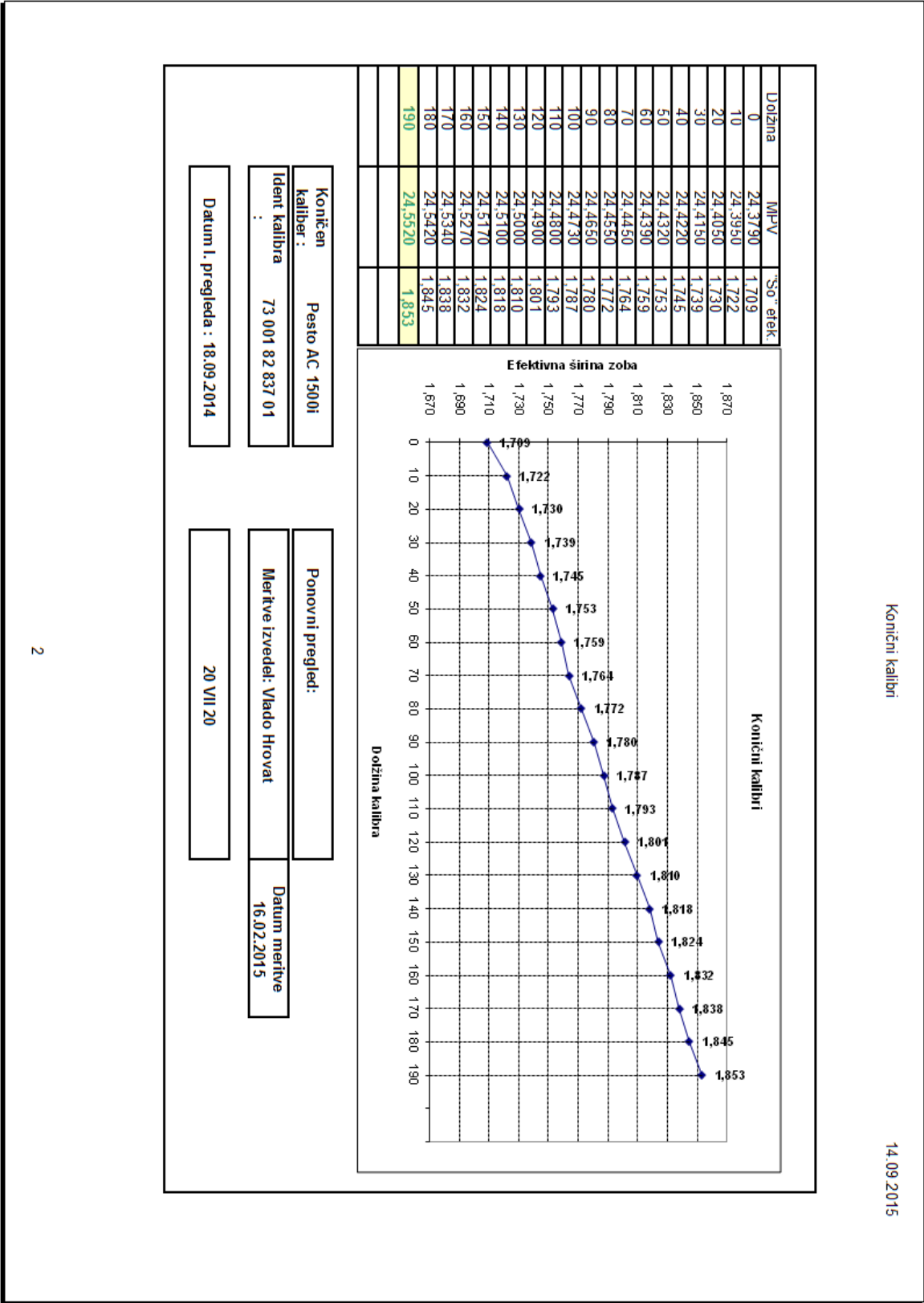
DATOS ADICIONALES
Reducción: 55,8 ; El material no contiene Pb, Cd, Hg, ni Cr hexavalente

Material fundido y fabricado 100% en España mediante horno eléctrico y desgasificado al vacío
 Acero no expuesto a mercurio o cualquier otra aleación metálica que sea líquida a temperatura ambiente durante la fabricación o estancia en las instalaciones de Gerdau
 Acero libre de uranio o cualquier otra contaminación radiactiva
 Acero no reparado con soldadura

TECNOLOGÍA Y CALIDAD CERTIFICA QUE EL PRODUCTO CUMPLE CON LAS REESPECIFICACIONES DEL PEDIDO		
APROBADO: IGNACIO URSUA LAYRADA	FIRMA:	
FECHA: 14.07.2015	Página 1 de 1	
REF.: 4003447920000		Analista GERARDO GARCIA de Calidad

Página 1 de 1

REF.: 400047920000



Priloga 3: Tabele za konični kaliber 3 VII 20

Konični kalibri

14.09.2015

