



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Edgaras Rimkus**

**Terminio apdorojimo įtakos tyrimas detalių kokybės  
užtikrinimui**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas:** Doc. dr. Inga Skiedraitė

**KAUNAS, 2018**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
**GAMYBOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**Terminio apdorojimo įtakos tyrimas detalių kokybės  
užtikrinimui**

Baigiamasis magistro projektas  
Gamybos inžinerija (kodas 621H70004 )

**Vadovas**

Doc. dr. Inga Skiedraitė

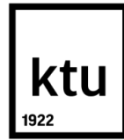
**Recenzentas**

Prof. dr. Alvydas Kondratas

**Projektą atliko**

Edgaras Rimkus

**KAUNAS, 2018**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Edgaras Rimkus

(Studento vardas, pavardė)

Gamybos inžinerija, (621H70004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Terminio apdorojimo įtakos tyrimas detalių kokybės užtikrinimui“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. sausio 08 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Edgardo Rimkaus, baigiamasis projektas tema „Terminio apdorojimo įtakos tyrimas detalių kokybės užtikrinimui“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Tvirtinu:**

Gamybos inžinerijos  
katedros vedėjas

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Kazimieras Juzėnas  
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS**  
**Studijų programa GAMYBOS INŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas (projektas), kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju darbu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos bei kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: Terminio apdorojimo įtakos tyrimas detalių kokybės užtikrinimui. Research of Heat Treatment Influence for Parts Quality Assurance.

Patvirtinta 2017 m. gruodžio 11 d. dekanų įsakymu V25-11-12

2. Darbo tikslas: Atlikti terminio apdorojimo įtakos tyrimą detalių kokybės užtikrinimui.

3. Darbo struktūra: Įvadas. Literatūros apžvalga ir tyrimo metodikos parinkimas bei rezultatų įvertinimas. Išvados.

4. Reikalavimai ir sąlygos: ruošiniai turi būti paruošti pagal LST EN 22768 – mK; EN 10083-1 reikalavimus.

5. Darbo pateikimo terminas 2017 m. gruodžio mėn. 21 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui: \_\_\_\_\_ MDM-6/4 gr.

Užduotį gavau Edgaras Rimkus

(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Vadovas Doc. dr. Inga Skiedraitė

(pareigos, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

# Turinys

ĮVADAS .....	8
1.Plieno sandaros ir savybių pokyčiai kaitinant ir aušinant.....	9
1.1 Metalų terminio apdorojimo būdai .....	9
1.1.1 Atkaitinimas .....	11
1.1.2 Normalizavimas.....	12
1.1.3 Grūdinimas .....	13
1.1.4 Atleidimas.....	14
1.2 Terminio apdorojimo defektai .....	15
1.3 Terminio apdorojimo įrenginių klasifikavimas .....	17
1.4 Terminio apdorojimo kokybės kontrolė .....	18
2. Plieno C45 terminio apdorojimo tyrimo metodika.....	20
2.1 Terminio grūdinimo procesas .....	22
2.2 Terminio atleidimo procesas .....	23
2.3 Kietumo tyrimas naudojant Rokvelio metodą.....	28
2.4 Ašinio mušimo tyrimas.....	30
3. Plieno terminio apdorojimo rezultatai .....	31
3.1 C45 plieno kietumo tyrimo rezultatai po terminio apdorojimo .....	31
3.2 C45 plieno ašinio mušimo rezultatai .....	32
3.3 Plieno 40X kietumo tyrimo rezultatai po terminio apdirbimo .....	33
3.4 Plieno 40X ašinio mušimo rezultatai.....	34
3.5 C45 ir 40X plienų palyginimas.....	35
Literatūros sąrašas .....	37
1. Piedas. SNO-4h8h2,5 / 10I2 oksidacinė krosnis .....	39
2. Piedas. C45 plienas.....	40
3. Piedas. C45 plienas .....	42
4. Piedas. Rockwell kietumo testeris 5006.....	46
5. Piedas.....	47
6. Piedas.....	49
7.Piedas.....	51

Rimkus, E. Terminio apdorojimo įtakos tyrimas detalių kokybės užtikrinimui. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Inga Skiedraitė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, gamybos inžinerijos katedra katedra.

Kaunas, 2018. 51psl.

## **SANTRAUKA**

Šiame darbe tiriama terminio apdorojimo įtaka metalinės detalės kokybės užtikrinimui. Pirmoje dalyje nuosekliai aprašomi terminiai plieno apdorojimas etapai ir tuose etapuose vykstančius procesus. Dar pabrėžiama kokybės kontrolės būdai ir galimi terminio apdorojimo defektai. Antroje dalyje pateikiama tiriamo plieno ruošinių gamybos ir paruošimo eiga. Tuomet sudaroma terminio technologinis kelias nuo grūdinimo iki atkaitinimo. Po terminio apdorojimo yra atliekama kontrolė, kuri susidaro iš kietumo ir ašinio mušimo tyrimo. Trečioje dalyje, kurioje yra gaunami tirti rezultatai, grafiškai pateikiami visi ištirti duomenys. Palyginami du skirtingi plienai tarpusavyje pagal kietumo ir ašinio mušimo deformacijas. Galiausiai yra parašomos išvados keltiems uždaviniams.

Raktiniai žodžiai: grūdinimas, atkaitinimas, kietumas, ašinis mušimas, terminis apdorojimas.

Rimkus, E. Research of Heat Treatment Influence for Parts Quality Assurance . Master degree final project / supervisor Assoc. Prof. Inga Skiedraitė; Kaunas University of Technology, Mechanical Engineering and Design faculty, Production engineering department.

Kaunas, 2018. 51p.

## **SUMMARY**

In this work, the influence of heat treatment on the quality of metal details is investigated. The first part consistently describes the thermal stages of the steel treatment and the processes occurring in those stages. Quality control methods and possible defects in heat treatment are also highlighted. The second part presents the process of production and preparation of the preforms. The thermal technological path is then formed from hardening to annealing. After the heat treatment, a control is carried out which results from a rigidity and axial shock test. In the third part, which contains the results of the study, all the data analyzed are presented graphically. Comparison of two different steels with respect to hardness and axial deflection strain. Finally, conclusions are drawn for some of the challenges.

Key points: hardening, annealing, hardness, axial punching, thermal treatment.

## IVADAS

Metalas – viena populiariausių ir dažniausių medžiagų, kurias sutinkame savo kasdieniniame gyvenime. Tai viena svarbiausių automobilių bei prietaisų konstrukcinė medžiaga, kurios gamybos kelias ilgas ir komplikuotas. Seniausi randami metalo gaminiai siekia net 8000 metų, o pats metalas iš rūdų pradėtas išgauti kiek vėliau nei po 2000 metų. Šiuo laikotarpiu jau buvo žinomi pirmieji metalo apdirbimo būdai – metalo kaitinimas, kurio metu jis pasidaro plastiškas ir vėsinimas, kuomet įkaitintą metalą įkišus į vandenį, jis sukietėja ir tampa tvirtesnis.

Plieno terminis apdorojimas – tai plieno įkaitinimas iki nustatytos temperatūros, išlaikymas ir aušinimas, pasirinkus tam tikrą laiką tam tikroje terpėje. Atliekant šiuos procesus siekiama išgauti reikiamų savybių plieną, keičiant jo struktūrą.

Plieno, kuris buvo termiškai apdorotas, savybės būna pakitusios, todėl šis terminio apdorojimo būdas yra plačiai pritaikomas pramonėje ir kitose srityse. Įkaitintas ir lėtai ataušintas plienas tampa minkštas ir plastiškas, todėl yra patogų apdirbti, mechaniškai deformuoti dėl jo minkštumo, tačiau gaminys galutiniame rezultate gausis taip pat minkštas. Dėl šios priežasties reikalingas staigus ataušinimas, kitaip vadinamas užgrūdinimas - tokiu būdu keletą kartų padidinamas jo stiprumas ir kietumas, atsparumas dilimui, bet tuo pačiu padidės ir jo trapumas.

Šiame amžiuje metalo terminis apdorojimas yra patobulėjęs ir pažengęs į priekį. Todėl terminiai apdirbimai yra stebėtinai tikslūs, o tam reikia metalų su tiksliomis sudėtimis, nes kiekvienas sudedamosios dalies procentas ar procento dalis metaluose gali nulemti terminio apdorojimo pokytį ir dėl to netinkamos sudėties plienas gali neįgauti norimų rezultatų po terminio apdirbimo.

### ***Darbo tikslas:***

Atlikti terminio apdorojimo įtakos tyrimą metalinės detalės kokybės užtikrinimui.

### ***Darbo uždaviniai:***

1. Išanalizuoti metalų terminio apdorojimo procesus, defektų nustatymo būdus ir tam skirtus matavimo prietaisus;
2. Sudaryti C45 plieno terminio apdorojimo technologiją;
3. Ištirti skirtingų tiekėjų C45 plieno bandinių kokybę po terminio apdorojimo procesų;
4. Ištirti C45 ir 40X plieno kietumą pagal Rokvelio metodą ir atlikti ašinio mušimo tyrimą po terminio apdirbimo;
5. Palyginti C45 ir 40X plienų deformacijas ir kietumą po terminio apdorojimo procesų.



# 1. Plieno sandaros ir savybių pokyčiai kaitinant ir aušinant

Plieno terminiam apdorojimui atlikti reikalingos teorinės žinios apie kaitinamo ir aušinamo metalo sandarą bei savybes. Visa tai lemia plieno kritinės temperatūros, dėl kurių atsiradimo prasideda arba baigiasi faziniai virsmai, jos žymimos raide A su skaitmeniniu indeksu, pavyzdžiui,  $A_1$ ,  $A_3$  [1].

Viena iš kritinių temperatūrų (cementitinė) žymima  $A_{cm}$ . Kritinės temperatūros, gautos kaitinant ir aušinant, žymimos skirtingai. Jeigu virsmas vyksta kaitinant, tai kritinė temperatūra žymima prirašant raidę c, pavyzdžiui,  $A_{c1}$ ,  $A_{cm}$ , jei aušinant - prirašoma raidė r, pavyzdžiui,  $A_{r1}$ ,  $A_{r_{cm}}$ . [1].

$A_1$  (727 °C temperatūra) – linija PSK rodo perlitinį virsmą. Ties šia linija kaitinamas perlitas virsta austenitu, o aušinamas austenitas virsta perlitu.

$A_3$  (727 – 911 °C temperatūra) – linija GS rodo ferito išstipimo austenite pabaigą kaitinant ir ferito išsiskyrimo iš austenito pradžia aušinant metalą.

$A_{cm}$  (727 – 1147 °C temperatūra) – linija SE rodo antrinio cementito išstipimo austenite pabaigą kaitinant ir antrinio cementito išsiskyrimo iš austenito pradžia aušinant metalą.

Praktikoje, norint paspartinti fazinius virsmus, kaitinama ne iki kritinės temperatūros, bet iki aukštesnės nei 30 – 50 °C [1].

Pagrindiniai kaitinamame ir aušinamame pliene vykstantys fazių virsmai yra šie[1]:

1. Perlito virtimas austenitu ( $P \rightarrow A$ );
2. Austenito virtimas perlitu ( $A \rightarrow P$ );
3. Austenito virtimas martensitu ( $A \rightarrow M$ );
4. Martensito virtimas perlitu ( $M \rightarrow P$ ).

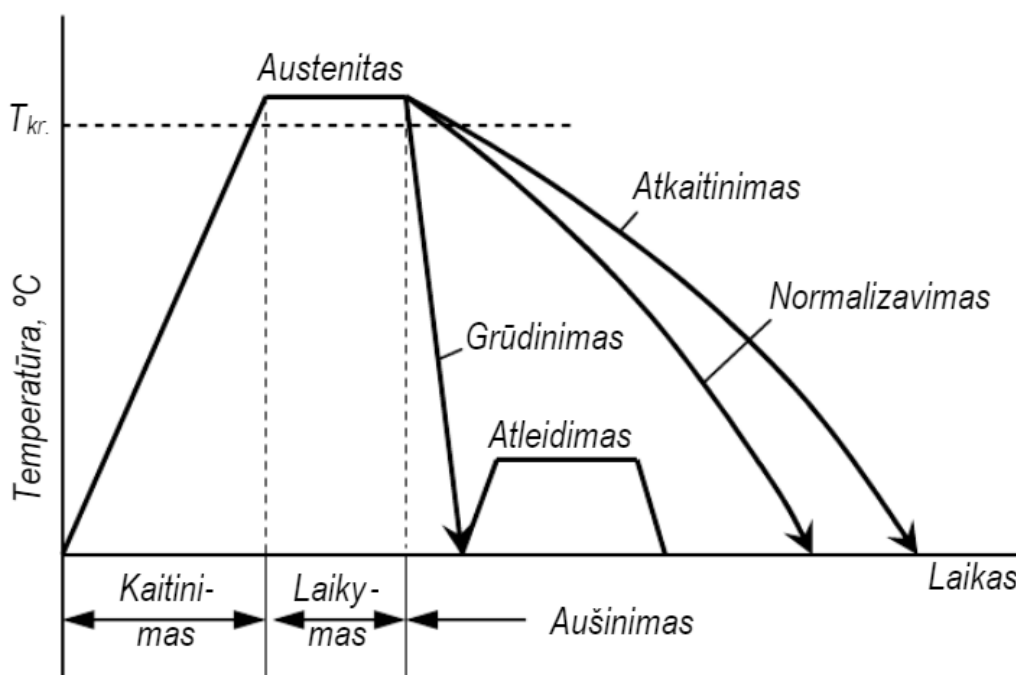
Perlito virtimas austenitu (austenitinis virsmas). Neužgrūdinto plieno struktūrą kambario

## 1.1 Metalų terminio apdorojimo būdai

Terminis apdorojimas – tai metalo ir jo lydinių kaitinimas iki reikiamos temperatūros, išlaikymas ir ataušinimas tam tikru greičiu, kad pasikeitusi metalo sandara padėtų išgauti reikiamų savybių. Terminio apdorojimo paskirčių yra begalė – sumažinti metalo stiprumą bei kietumą prieš apdirbimą pjovimu (tai įtakoja plieno apdirbimo laiką), gražinti metalo plastiškumą šaltai deformuojant sukietintam metalui, padidinti kietumui bei atsparumui įvairiems dilimo procesams, pašalinti metalo gaminio vidiniai įtempimai, kurie lemia išsikraipymą [2].

Norint palengvinti apdirbimo procesą ar gaminiui suteikti pageidautinas savybes, pasitelkiama terminiu apdorojimu. Pirmasis terminis apdorojimas vadinamas paruošiamuoju, o antrasis – baigiamuoju. Pastarasis terminis apdorojimas yra kritiškai svarbus gamybos procese, nes nuo jo priklauso, kokias eksprotacines savybes turės apdorojamas gaminys. Pritaikius netinkamą terminį apdorojimą, galima prarasti daug laiko bei įdėto darbo.

Terminio apdorojimo kokybė priklauso nuo trijų svarbiausių operacijų – kaitinimo, išlaikymo bei aušinimo. Tačiau kaitinimo temperatūra ir aušinimo greitis yra lemiami faktoriai terminiam apdorojime. Pieno terminiam apdirbime taikomi keturi pagrindiniai būdai : atkaitinimas, normalizavimas, grūdinimas bei atleidimas. Jų atlikimo schema pavaizduota 1pav. Kai vyksta atkaitinimas bei plieno grūdinimas, jis įkaitsta iki tam tikros temperatūros, kurioje susidaro austenitinė struktūra. Šie būdai skiriasi aušinimo greičiu. Atleidimui, t. y. pakaitinimui po grūdinimo, įkaitinimo temperatūra žemesnė ir aušinimo greitis ne toks svarbus. Kitiems terminio apdorojimo būdams aušinimo greitis yra ypatingai svarbus. Atkaitinimas laikomas lėčiausiu įkaitinto iki austenitinės stuktūros plieno aušinimu, dažnai pasitaiko kartu su krosnimi. Normalizavimas – greitesnis plieno aušinimas ore. Grūdinimas – tai pats staigiausias įkaitinto plieno aušinimas vandenyje arba alyvoje iki austenitinės struktūros [2].



**1.1 pav.** Pagrindinių plieno terminio apdorojimo būdų technologinė schema [1].

**1.1.1 Atkaitinimas** – plieno įkaitinimas iki reikiamos temperatūros, išlaikymas temperatūroje bei ataušinimas, neišimant iš krosnies. Šių procesų tikslas yra išgauti minkštą, stabilios sandaros bei plastišką, be vidinių įtempimų, metalą. Dažnai atkaitinimas taikomas kaip paruošiamasis žingsnis suminkštinti metalui prieš mechaninį apdirbimą, tačiau kartais atkaitinimas atliekamas kaip baigiamoji operacija, suteikiant gaminiui plastiškumo bei panaikinant vidinius įtempimus. Plienas retkarčiais atkaitinamas tam, kad būtų sulyginata jo sudėtis ar cheminė struktūra. Yra keletas pagrindinių atkaitinimo rūšių [1].

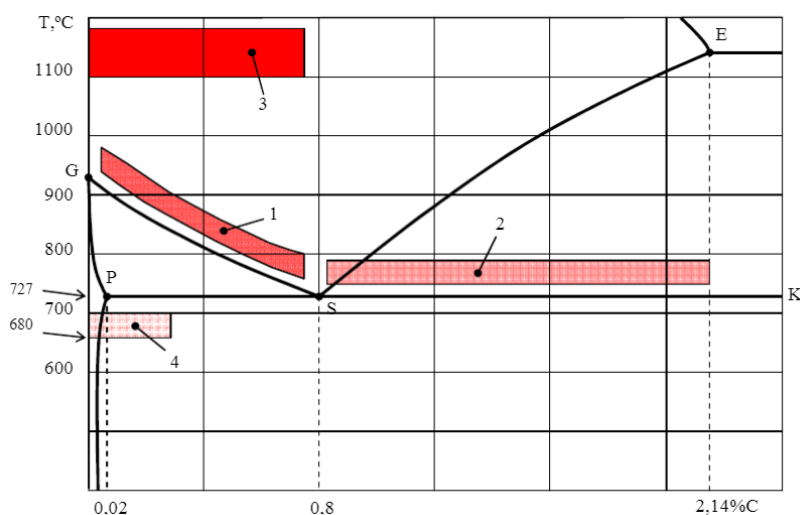
**Visiškas atkaitinimas** taikomas išskirtinai ikieutektoidiniams plienams, kuomet yra poreikis gauti smulkiagrūdę plieno struktūrą, pašalinti atsiradusius vidinius įtempimus bei padidinti metalo plastiškumą.

**Izoterminis atkaitinimas** naudojamas kuomet reikia pakeisti visišką atkaitinimą, taip sutrumpinant operacijos laiką beveik perpus.

**Dalinis atkaitinimas**, priešingai nei visiškasis atkaitinimas, taikomas poeutektoidiniams plienams po karštojo apdirbimo naudojant spaudimą, kuomet yra poreikis sumažinti valcuotų ir kaltų detalių kietumą, tuo pačiu pagerinant jų apdirbamumą.

**Sferoidacinis atkaitinimas** yra dalinio atkaitinimo atmaina, kuomet yra poreikis poeutektidinių plienų struktūroje plokštelinį perlitą pakeisti į grūdinį, kuris pasižymi minkštumu, plastiškumu ir geresniu apdirbimu tekinant .

**Homogenizacinis atkaitinimas** naudojamas atgauti plastiškumą tokiems gaminiams, kurie apdirbti naudojant spaudimą, procese sukietėjo ir padidėjo jų trapumas [2].

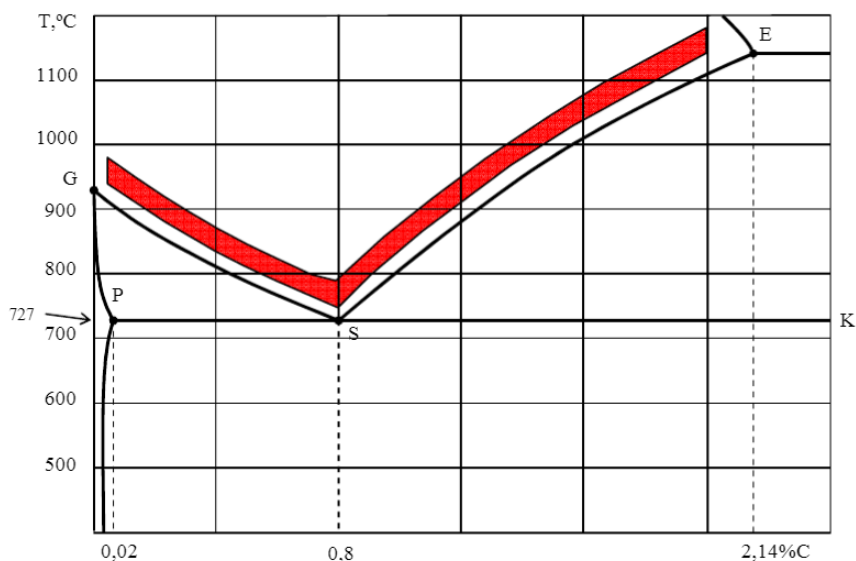


**1.2 pav.** Atkaitinimo rūšys: 1 – visiškasis; 2 – dalinis; 3 – homogenizacinis (difuzinis); 4 – rekristalizacinis[1].

*Atkaitinimas įtempiams mažinti ( žematemperatūris )* naudojamas suvirintoms, pjovimo būdu apdirbtoms detalėms, liejiniams. Šis būdas naudojamas gaminiams po šalto deformavimo, kuomet yra poreikis panaikinti gamybos procesuose atsiradusius liekamuosius įtempius.

**1.1.2 Normalizavimas** – tai ikieutektoidinių plienų įkaitinimas iki 30 – 50 °C aukštesnės negu  $A_3$  temperatūros (linija GS Fe - C diagramoje), o poeutektoidinių - aukštesnės negu  $A_{cm}$  (linija SE Fe - C diagramoje), išlaikymas joje ir aušinimas ramiame ore 1.3 pav.

Normalizavimo tikslas – gauti reikalingą smulkiagrūdę plieno gaminio truktūrą, kuri rezultate tampa stipresnė ir kietesnė, palyginant kokios plieno savybės atsiranda po įprastinio atkaitinimo. Poeutektoidinių plienų struktūroje panaikinamas cementito tinklelis, kuris suteikia plienui prastas mechanines savybes. Ikieutektoidiniams plienams normalizavimas taikomas kuomet yra poreikis pagerinti jų mechanines savybes, o poeutektoidiniams – panaikinti cementito tinklelį ir tolesniam terminiam apdirbimui paruošti plieno mikrostukturą. Po normalizavimo ikieutektoidinių plienų struktūrą sudaro smulkiagrūdis perlitas ir feritas, o poeutektoidinių plienų struktūra tampa panaši į sorbitą [1, 3].

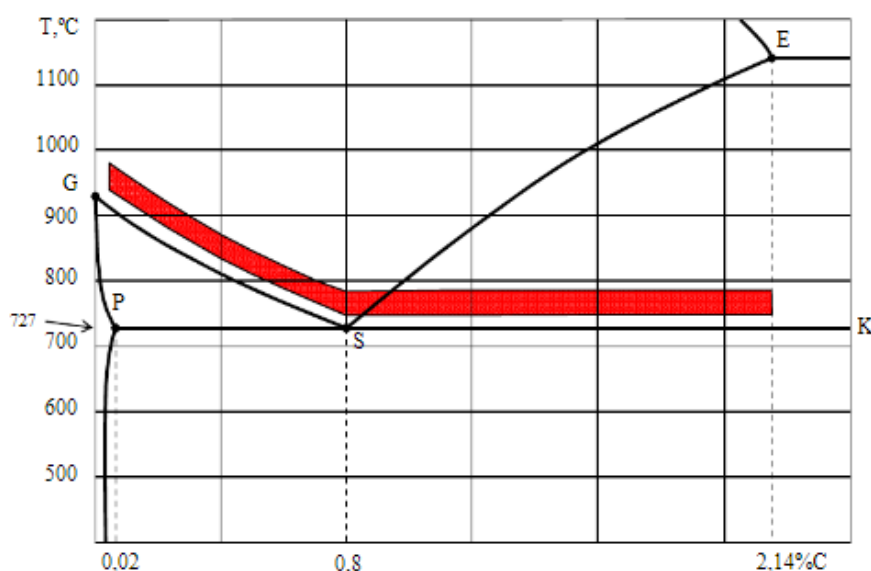


**1.3 pav.** Normalizavimas: GS- ikieutektoidiniai; SE- poeutektoidiniai plienai [1].

Normalizavimas vyksta sparčiau nei atkaininimas vien dėl to, kad aušinama ore, o krosnys atlaisvinamos. Mažaangliai plienai vis rečiau yra atkaitinami – dažniau renkama normalizavimas, o vidutinio anglingumo plienams normalizavimas gali pakeisti grūdinimą su aukštuoju atleidimu.

Normalizavimas neretai priskiriamas prie atkaitinimo, tačiau šiais laikais jis dažniau apibrėžiamas kaip atskiras terminio apdorojimo būdas.

**1.1.3 Grūdinimas** - tai ikieutektoidinių plienų įkaitinimas iki 30 – 50 °C aukštesnės negu  $A_3$  temperatūros, o poeutektoidinių - aukštesnės negu  $A_1$  (1.4 pav. ), išlaikymas joje ir aušinimas greičiu, didesniu už kritinį, kad plienas pasidarytų kietas, stiprus ir atsparus dilimui. Tačiau padidėja grūdinto plieno trapumas. Anglinį plieną dažniausiai aušina vandenyje, o legiruotąjį – alyvoje. Jeigu plienas aušinamas didesniu greičiu nei kritinis, austenitas tampa martensitu. Martensitas susidaro tik kintant staiga ataušintam austenitui. Bet kuriuo greičiu aušinami feritas ir cementitas nekeičia savo savybių. Tokia sąlyga plienas grūdinimui turi būti įkaitinamas iki tam tikros temperatūros, kitaip struktūroje susidarytų austenitas. Įkaitintame poeutektoidiniame pliene, neskaitant austenito, yra antrinio cementito, kuris pasižymi didesniu keitumu už martensitą, tačiau nepablogina grūdinimo kokybės. Grūdinimo savybės nusakomos užgrūdintumu ir įgrūdinamumu [1, 3].



**1.4 pav.** Grūdinimas: GS- ikieutektoidiniai; SK- poeutektoidiniai plienai [1].

**Užgrūdinamumas** - plieno savybė keisti kietumą vykstant grūdinimo procesui. Užgrūdinamumas priklauso nuo anglies kiekio pliene – didesnis anglies kiekis pliene lemia didesnę kietumą, kuris gaunamas vykstant grūdinimui. Neanglingasis ir mažanglis plienas (iki 0,25 – 0,3% C) vadinamas nesigrūdinančiu, nes vykstant grūdinimo procesui, nežymiai padidėja kietumas [4].

**Įgrūdinamumas** – plieno savybė užsigrūdinti iki tam tikro gylio. Įgrūdinamumas labiausiai priklauso nuo legiravimo elementų pliene – tai viena svarbiausių charakteristikų, kuri lemia, ar turimo didumo detalė bus užgrūdinta per visą skerspjūvį [1].

Renkantis grūdinimo būdą, turi būti atsižvelgta į grūdinamo plieno sudėtį, gaminio gabaritus bei reikalingą formą, rezultata ir palankų ekonomiškumą. Jeigu plieno sudėtyje aptinkamas didelis

kiekis anglies, tuomet net ir žemesnėje temperatūroje susidaro martensitas ir padidėja grūdinimo įtempimai ir padidėja gaminio trapumas. Todėl prieš grūdinimą reikėtų atsižvelgti į anglies kiekį pliene ir pasirinkti tinkamą, „švelnesnį“ būdą apdoroti plieną. Šių būdų yra keletas [4].

**1.1.4 Atleidimas** - tai užgrūdinto plieno įkaitinimas iki ne aukštesnės kaip  $A_1$  ( $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) temperatūros, išlaikymas joje tam tikrą laiką ir lėtas ataušinimas (dažniausiai ore). Atleidimo temperatūra pasitenkama pagal reikiamą gaminio kietumą po terminio apdorojimo. Didesnė atleidimo temperatūra lemia didesnį plieno minkštumą. Išlaikymo trukmė, kuomet vyksta plieno atleidimas, priklauso nuo atleidimo temperatūros, gaminių dydžio ir kitų faktorių. Dažniausiai yra naudojamosi trijų rūšių atleidimais [5].

**Žemasis atleidimas** atliekamas įkaitinus grūdintą plieną iki iki  $150 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūros. Naudojant žemąjį atleidimą siekiama sumažinti grūdinimo metu atsiradusius vidinius įtempimus, vengiant plieno minkštėjimo [5].

**Vidutinis atleidimas** atliekamas  $350 - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroje. Atleidimo metu gaunama trostitinė struktūra. Atleidimo tikslas - gauti tamprų, stiprų bei pakankamai kietą plieną [5].

**Aukštasis atleidimas** atliekamas  $500 - 680\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroje. Vykstant atleidimui susidaro sorbotinė struktūra. Kuomet yra taikomas aukštasis atleidimas, jo metu pašalinami beveik visi įtempimai, kurie susidarė vykstant grūdinimui. Aukštojo atleidimo metu gaunamas labai tšsus, plastiškas ir pakankamai stiprus plienas [5].

Vykstant žemajam atleidimui, jo struktūra nebūna galutinai stabili – ilgainiui ji kinta, todėl tikėtinas ir plieno matmenų pakitimas, kas yra nepriimtina tikslumo reikalaujantiems gaminiams. Stabilių matmenų reikalaujantys gaminiai yra sendinami, t.y. nuo vienos iki kelių parų laikomas  $120 - 130\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroje. Sendinamas stipriai legiruotas, atsparus kaitrai plienas, duraliuminis, magnio ir titano lydiniai. Po sendinimo padidėja metalo stiprumas bei kietumas, tačiau sumažėja plastiškumas. Gaminiams iš ketaus galima naudoti natūralus sendinimo būdas, kuomet ketaus liejinai laikomi atvira ore [5].

## 1.2 Terminio apdorojimo defektai

Kaikurie terminio apdorojimo defektai būna ištaisomi, kaikurie – ne. Ištaisomais terminio apdorojimo defektais laikomi nepasiektos reikalautos metalo savybės bei struktūra, kuri pakito dėl netikslios terminio apdorojimo technologijos. Priežasčių būna įvairių – netinkamas terminio apdorojimo būdas, netinkami režimai, netinkamas matavimo priemonių sureguliuavimas, išankstiniai metalo defektai ir panašios priežastys. Ištaisomus terminio apdorojimo defektus galima panaikinti naudojant pakartotinį terminį apdorojimą, naudojant tikslius režimus. Neištaisomaisiais defektais vadinami tokie defektai, kuomet įvyksta anglies išdegimas metalo paviršiniame sluoksnyje (nuanglėjimas), plieno perdengimas, gaminio įtrūkimas arba susikaipymas.

**Perkaitinimas.** Perkaitinimu vadinama kuomet iš pernelyg aukštoje temperatūroje įkaitinto plieno paviršiuje išauga austenito grūdėliai. Mažą smūginį tąsumą turinti stambiagrūdė plieno struktūra yra nepakankamai plastiška. Jeigu įkaitinimo temperatūra labai aukšta ir yra netoli lydymosi temperatūros, įvyksta austenito grūdelių paviršiaus oksidacija, o tai paveikia grūdelių ribas. Toks neištisomas defektas kitaip vadinamas perdeginiu [1].

**Cementitinis tinklelis.** Kuomet anglinio poeutektoninio plieno detalė yra įkaitinama iki aukštos, austenitinės būklę reiškiančios temperatūros ir lėtai aušinama, antrinis cementitas išsiskiria ties perlito grūdelių ribomis. Atliekant tokio plieno mikrostruktūros tyrimus, gana aiškiai matomas cementitinis tinklelis. Toks plienas yra nedidelio smūginio tąsumo, trapesnis ir priskiriamas prie netinkamų grūdinimui. Cementitinis tinklelis panaikinamas kaitinant plieną iki aukštesnės nei  $A_{cm}$  temperatūros ir ataušinus ore (normalizavimas) arba taikant sferoidacinį atkaitinimą [6].

**Paviršiaus oksidacija ir nuanglėjimas.** Ore kaitinamų plienų paviršiuje vyksta oksidacija ir nuanglėjimas. Kuomet įvyksta paviršių oksidacija, atsiranda papildomų sąnaudų poreikis – reikia valyti paviršius, kad būtų pašalintos visos susidariusios nuodegos. Nuanglėjimu vadinamas anglies kiekio sumažėjimas plieno viršutiniame sluoksnyje. Didžiausias nuanglėjimas vyksta molibdenu ir siliciu legiruotuose plienuose. Anglies netekęs paviršius tampa nestiprus ir neatsparus dilimui. Jeigu panaudojus mechaniską apdirbimą šio defekto pašalinti neįmanoma, jis laikomas neištisomu. Oksidacija priklauso nuo aplinkoje esančio deguonies, o išanglėjimas – vandens garų ir anglies dioksido. Dėl šios priežasties plienai turi būti kaitinami apsauginėje inertinių dujų aplinkoje arba vakuume [6].

**Nepakankamas kietumas užgrūdinus.** Per žema įkaitinimo temperatūra, kuomet struktūroje likę ferito, nepakankama kaitinimo trukmė, per lėtas aušinimas, kuomet aušinimo terpė yra netinkama, prieš tai aptartas plieno nuanglėjimas kaitinant, nenuvalytas susioksidavęs paviršius yra nepakankamo kietumo priežastys. Blogai užgrūdintas detales reikia atkaitinti arba normalizuoti ir pakartotinai užgrūdinti [6, 1].

**Terminio apdorojimo deformacijos.** Dideli įtempimai atsiranda grūdinimo metu aušinant plieną dideliu greičiu. Kuomet įtempiai didesni už tamprumo ribą, gaminys gali deformuotis. Dažniausiai išsikraipo iš anglinių plienų pagamintos detalės, nes grūdinimo metu joms reikalingas staigus aušinimas vandeniui. Daugiau anglies turintis plienas lengviau deformuojasi, tuo tarpu legiruoti plienai deformuojasi mažiau, nes jie aušinami švelnesnėse terpėse. Termiškai apdorojamų detalių deformacija priklauso ne tik nuo netolygaus aušinimo, bet ir dėl netolygaus kaitinimo – netolygus gaminių sukrovimas į krosnį taip pat turi reikšmę. Tolygiausiai aušta tinkamai į aušinimo terpę pamerktos detalės : cilindrinę detalę rekomenduodama panardinti vertikaliai, o plokščią – briauna į priekį. Plonų gaminių negalima panardinti ilguoju paviršiumi arba plokštuma, nes tuomet jie išsikraipo. Grūdinamos skirtingos detalės aušta netolygiai, kuomet jos aušinamos liečiasi tarpusavyje, kai detalių paviršiuje yra oksidų, kai aušinimo terpėse detalės laikomos replėmis. Susilietimo vietoje po grūdinimo galima rasti minkštų dėmių [6, 1].

**Įtrūkimai.** Įtrūkimų atsiradimo priežastys būna įvairios – gausiai legiruotuose plienuose įtrūkimai atsiranda kaitinant, kadangi dėl jų trapumo ir mažesnio laidumo šilumai nei angliniai plienai. Tokį plieną patariama kaitinti per kelis etapus – iš pradžių lėtai, kad plienas pasidarytų plaštiškas (mažiau legiruoti iki 500 °C, gausiai legiruoti iki 750 - 800 °C), o paskui kaitinimo temperatūrą didinti. Įtrūkimai dažniausiai atsiranda grūdinimo metu, kuomet įkaitintas plienas yra aušinamas. Jeigu aušinama per greitai (kuomet susidaro dideli temperatūrų skirtumai), atsiranda įtempimai, kurie gali būti didesni už stiprumo ribą, todėl gaminyje atsiranda įtrūkimai. Gaminiui skirtą anglinį plieną patartina pakeisti legiruotuoju, kad būtų galimybė grūdinti ne vandenyje, bet lėčiau aušinančioje alyvoje. Jei galima, rekomenduojama taikyti dviterpį grūdinimą – „per vandenį į alyvą“. Įtrūkimai gali atsirasti ir dėl netinkamos gaminių konstrukcijos, kuomet kampai nesuapvalinti, skerspjuvis staigiai pakeičiamas, vietinės įdubos, pavyzdžiui, pleištu grioveliai. Tokios vietos grūdinant turi būti užkemšamos asbestu arba moliu [6, 1].



### 1.3 Terminio apdorojimo įrenginių klasifikavimas

Metalų terminio apdorojimo įrengimai skirstomi į dvi įrenginių rūšis – technologinius ir pagalbinius. Prie pagrindinių įrenginių, kurie atlieka pagrindinius terminio apdorojimo technologines operacijas, priskiriamos kaitinimo krosnys, indukcinio kaitinimo įrengimai, įrenginiai, kurie skirti ruošti apsauginę atmosferę, grūdinimo bakai ir kiti panašūs įrenginiai. Pagalbiniais įrenginiais laikomi lyginimo presai (hidrauliniai ar mechaniniai presai, skirti atstatyti plokščių formai po terminio apdorojimo ir plovimo), valymo įrenginiai ir kontrolės-matavimo priemonės [7].

#### 1.1 Lentelė. Kaitinimo krosnys klasifikuojamos pagal šiuos požymius [7]

Pagal technologinius požymius	universalios krosnys atkaitinimui, žemam ir aukštam atleidimui, grūdinimui normalizavimui ir metalų termocheminiam apdirbimui
	specialios paskirties krosnys, gaminamos konkreitiems terminio apdirbimo procesams, labai didelio našumo ir pritaikytos vieno tipo detalėms
Pagal terminio apdirbimo procesų maksimalią darbinę temperatūrą	žemos temperatūros krosnys (iki 500 °C)
	vidutinės temperatūros krosnys (iki 1000 °C)
	aukštos temperatūros krosnys (iki 1400 °C)
Pagal detalių pakrovimo ir iškrovimo iš krosnies būdą	krosnys su ištraukiamu padu
	krosnys su nejudamu padu
	elevatorinės krosnys
	kamerinės krosnys
	daugiakamerinės krosnys
	šachtinės (vertikalios) krosnys
	karuselinės krosnys
	konvejerinės, rolganginės, stūmimo, nepertraukiamo veikimo krosnys
Pagal šilumos šaltinį	dujinės
	elektrinės
	kaitinimui aukšto dažnio srovėmis

#### 1.1.1 Lentelė. 1.1 lentelės tęsinys [7]

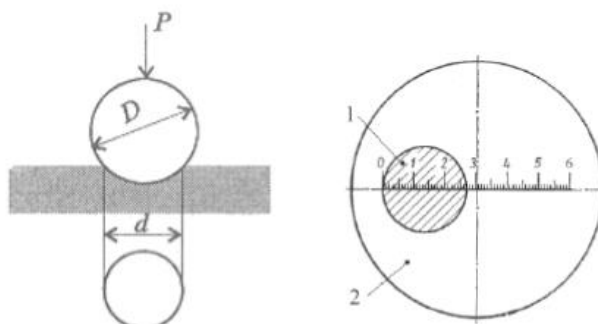
Pagal kaitinimo aplinką	kaitinimo procesas atliekamas atmosferos oro aplinkoje
	kaitinimo procesas atliekamas apsauginėje aplinkoje
	kaitinimo procesas atliekamas vakuumo aplinkoje
	kaitinimas atliekamas druskų voniose

## 1.4 Terminio apdorojimo kokybės kontrolė

Kuomet atliekamas metalo terminis apdorojimas, jo rezultatas įvertinamas mikroskopu ištyrus medžiagos vidinę sandarą – atliekama mikroskopinė analizė. Tam, kad būtų matomas ryškus kontrastinis vaizdas, reikalingas lygus bandinių paviršius. Tam būtina paruošti tiriamo bandinio mikrošlifą – jie ruošiami iš gaminiui būdingos tiriamos vietos išpjaunant metalo gabaliuką ir jo paviršių šlifuojant švirtiniais popieriais, pirmiausia naudojant švelniausią, o baigiant šiurkščiausiu popieriumi, pastoviai kreičiant šlifavimo kryptį. Vėliau poliravimas vyksta ant besisukančiu su audeklu aptemto metalinio disko, suvilgyto smulkių abrazyvinių dalelių suspensija. Taip nupoliravus metalo paviršių, jis įgauna veidrodžio blizgesį – tokio paviršiaus bandinys vadinamas neryškintu mikrošlifu. Išryškintame mikrošliffe tiriami metalo struktūriniai elementai, todėl poliruotasis paviršius ėsdinamas skirtingais rūgščių tirpalais. Ant poliruoto paviršiaus rūgšties tirpalas tiesiog užlašinamas pipete. Įvairius grūdelius tirpalas išėda nevienodai, todėl šviesos atspindys tampa nevienodas. Plieniui ir ketui ėsdinti dažnai naudojamas 3 - 5 % azoto rūgšties spiritinis tirpalas [8].

Kuomet metalo paviršius nupoliruojamas, jis įgauna blizgesį, primenantį veidrodį : toks paviršius vadinamas neryškintu mikrošlifu, o metalo struktūriniai elementai tiriami tik išryškintame mikrošliffe. Neretai poliruotasis paviršius nuėsdinamas skirtingais rūgščių tirpalais. Plieniui ir ketui ėsdinti dažniausiai naudojamas 3 - 5 % azoto rūgšties spiritinis tirpalas. Kuomet reikalingas nuėsdintas mikrošlifas, tuomet ant poliruoto paviršiaus rūgšties užlašinamas pipete. Kadangi įvairūs pasitaikę grūdeliai skirtingai atspindi šviesą, todėl rūgštis juos paveikia taip pat nevienodai, o tai suteikia galimybę atskirti vienos rūšies grūdelius (fazes) nuo kitų. Mikrostruktūra – tai metalo struktūra, kuri matoma pro mikroskopą [8]. Dažniausiai naudojamas terminio apdorojimo kokybės įvertinimo metodas – kietumo išmatavimas, atlikus terminį apdorojimą. Labiausiai paplitę yra trys metalų kietumo įvertinimo būdai : Brinelio - kuomet būna įspaudžiamas grūdinto plieno rutuliukas; Rokvelio – įspaudžiant deimantinį kūgį, Vikerso – kuomet tam pačiam įspaudimui naudojama deimantinė piramidė. Kietumo nustatymo būdas, įspaudimui taikomos apkrovos dydis, antgalių matmenys ir formos priklauso nuo metalo rūšies ir prieš tai atlikto terminio apdorojimo būdo. Anksčiau minėtas Brinelio metodas taikomas neitin kietų medžiagų kietumui nustatyti. Šiuo metodu lydinių kietumas negali viršyti HB – kitu atveju, viršijus šiuos matmenis, deformuojasi rutuliukas,

kas pakenkia rezultatų tikslumui. Matuojant metalų kietumą Brinelio metodu į metalo paviršių specialiu Brinelio presu pamažu, tam tikra jėga  $P$  (dažniausiai 3000 kgf) spaudžiamas (spaudimo laikas 10 sekundžių) nustatyto skersmens  $D$  (10 mm arba mažesnio) grūdinto plieno rutuliukas 1.5 pav. Jis metalo paviršiuje palieka atitinkamo dydžio įspaudą [9].



**1.5 pav.** Kietumo nustatymo Brinelio metodu schema 1 – įspaudas; 2 – Brinelio mikroskopo skalė [9].

Kietesnis metalas - mažesnis įspaudos skersmuo, tuo didesnis kietumas pagal Brinelį. Įspaudos skersmuo  $d$  išmatuojamas Brinelio mikroskopu arba specialia lupa, kurių skalės padalos vertė yra 0,05 mm. Kietumas pagal Brinelį yra žymimas HB ir apskaičiuojamas, kaip spaudimo jėgos  $P$  ir įspaudos sferinio paviršiaus ploto  $F$  santykis [9]:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ kgf/mm}^2 \quad (1.1)$$

Matuojant metalų kietumą Vickerso metodu, specialiu Vickerso presu į metalo paviršių spaudžiama (spaudimo jėga  $P$  nuo 1 iki 100 kgf) keturšonė deimantinė piramidė kurios viršūnės kampas tarp priešingų plokštumų yra 136°. Po to išmatuojamas įspaudos įstrižainės ir randamas jų aritmetinis vidurkis  $d$ . Kietumas pagal Vickersą HV apskaičiuojamas taip [9]:

$$HV = \frac{2P \cdot \sin(136^\circ / 2)}{d^2} = 1.8544(P / d^2), \text{ kgf/mm}^2 \quad (1.2)$$

## 2. Plieno C45 terminio apdorojimo tyrimo metodika

Tyrimams bus naudojamas plienas C 45, kuris yra kokybinis anglinis plienas. Skaičius prie jo parodo pliene esantį anglies kiekį šimtosiomis dalimis. Kadangi šis plienas turi mažiau žalingų priemaišų S (siera) ir P (fosforas) kiekį, tai jo mechaninės savybės yra geresnės ir jis naudojamas atsakingesnių detalių gamybai. Toks plienas naudojamas išskirtinų įrankių, ginklų, instrumentų gamyboje. Taip pat jis plačiai naudojamas krumpliaračio veleno, alkūninio veleno, kumštelinio veleno ir kitų krumpliaračių, špindelių gamyboje. Šie prietaisai yra veikiami termiškai, todėl jiems reikia padidinto stiprumo, kam tinkamas plienas C45. Legiravimo elementai pakeičia plieno mechanines ir technologines savybes : padidėja stiprumas, atsparumas dilimui, atsparumas korozijai ir karščiui.

Plienas C45 - priskiriamas prie legiruotųjų plienų , kadangi jei lydinio sudėtyje yra specialių priemaišų : chromo , nikelio , vario ir kitų. Legiravimo elementai pakeičia plieno mechanines ir technologines savybes: padidėja stiprumas, atsparumas dilimui, atsparumas korozijai ir karščiui, kas būdinga plieniui C45 2.1 lentelė (Priedai 2, 3).

2.1 Lentelė. Cheminė sudėtis [%] [10]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0,42-0,5	0,5-0,8	0,1-0,4	Max 0,04	Max 0,04	Max 0,3	Max 0,3	Max 0,1	Max 0,3

2.2 Lentelė. Standartiniai 45 plieno žymėjimo ekvivalentai [11]

PN	W. nr	EN	AISI	Russia (GOST)	Other
45	1.0503	C45	1045	45	12050

Norint termiškai apdoroti plieną visų pirma reikia sudaryti technologiją būsimam procesui, kuris susidaro iš grudinimo ir atleidimo procesų, šiuo atveju reikia termiškai apdoroti plieno C45 bandinius, kad po terminio apdorojimo plieno bandinys įgautų plieno 50 HRC kietumą.

Bandinių matmenys: 150 x Ø30 ( mm) h7 ;

Bandinių kiekis: kiekvieno tiekėjo po 3 bandinius, yra 5 tiekėjai;

Medžiaga: plienas C45 ;

Reikalingas kietumas po apdorojimo: 50 HRC ;

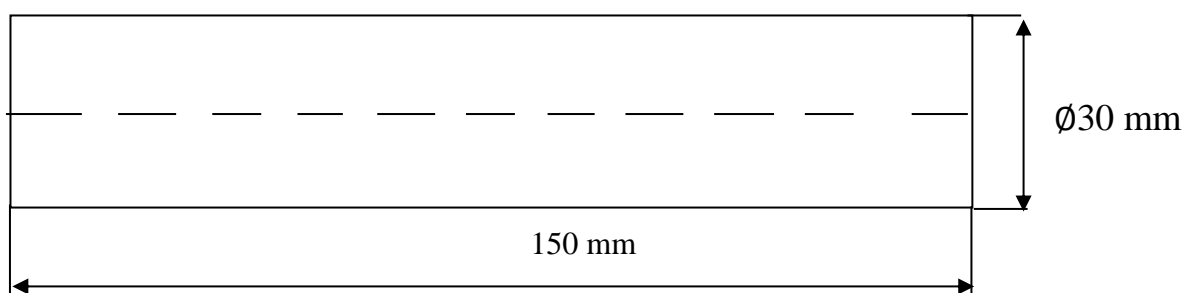
Teoriniai kritiniai taškai:  $A_{c1} = 730 \text{ }^\circ\text{C}$  ,  $A_{c3}(A_{cm}) = 755 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A_{gc3}(A_{cm}) = 690 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $A_{g1} = 780 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $M_n = 350'$

C45 plieno tankis:  $\rho = 7826 \text{ kg/m}^3$  ;

$$\text{Masė: } m = \pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot l = 3,14 \cdot 0,015^2 \cdot 0,15 \cdot 7826 = 0,829 \text{ (kg)} . \quad (2.1)$$

Čia  $m$ - ruošino masė,  $\pi$  -matematinė konstanta,  $r$ - ruošinio spindulys,  $\rho$ -medžiagos tankis,  $l$ -ruošinio ilgis.

Pasirenkame plieno 45 bandinius, kurie yra cilindro formos, jų matmenys pavaizduoti 2.1 pav. (Priedas 7).



**2.1 pav.** Bandinio bendras vaizdas.

Bandiniai šiam bandymui yra atpjaujami iš C45 plieno 35mm diametro strypų 2.2 pav. Tuomet jie nutekinami progrominėmis SPV staklėmis iki reikiamo diametro ir ilgio išlaikant visus matmenis pagal h7 tolerancijas. Ši tolerancija reikalinga tolimesnioms tyrimo dalims atlikti po terminio proceso. Po ištekinimo bandinių galuose yra išgrežiamos centravimo skylės tam, jog būtų galima nustatyti ašinį detalės mušimą.



**2.2 pav.** Paruošti ruošiniai terminiam apdorojimui.

## 2.1 Terminio grūdinimo procesas

Atliekant grūdinimą, plienas dažniausiai kaitinamas krosnyje, kurios būna elektrinės ir dujinės, arba išlydytų druskų vonioje. Elektrinėse ir dujinėse krosnyje kiekvienas gaminio storio milimetras kaitinamas apie vieną minutę, o druskų voniose – dvigubai trumpiau. Įkaitusio plieno išlaikymo trukmė dažniausiai užtrunka 20% kaitinimo laiko (legiruotas plienas – 25 – 30%).

Yra labai svarbu, kad aušinimo greitis, kuomet atliekamas grūdinimas, privalo būti toks, kad būtų galimybė susidaryti martensitinė struktūra. Anglinis plienas aušinamas vandenyje, nes šiam metalui reikalingas greitas aušinimas. Aušinimo eigai įtakos turi gaminio judejimas terpėje, kitaip vadinamas maišymusi. Jo metu suardoma ištisinė garų plėvelė ir garo burbulėliai greičiau atsiskiria nuo metalo paviršiaus [1].

Vandenyje ištirpintos druskos gali paspartinti aušinimą arba rūgštys (maždaug 10 %). Tai neleidžia susidaryti ištisinei garų plėvelei, kartu paspartindamas aušinimą aukštesnėje temperatūroje. Pagrindinis trūkumas, kuomet yra aušinama vandenyje, tai susidarantys įtempimai. Legiruotus plienus aušina alyvoje, nes tuomet didinamas įgrūdinamumas ir legiravimo elementai mažina kritinį aušinimo greitį. Grūdinant alyvoje susidaro daug mažesni grūdinimo įtempimai, gaminiai mažiau deformuojasi ir susikraipo. Alyva šilumą pašalina lėčiau, todėl angliniai plienai alyvoje grūdinami, kuomet gaminių storis yra ne didesnis kaip 5 - 6 mm., arba tuomet kai jie neturi būti labai kieti. Alyvos aušinimo greitį galima padidinti į ją pridėjus įvairių priemaišų, o ypač sumaišius su vandeniu [1].



2.3 pav. SNOL 35/1200 krosnis [12].

Tomis pačiomis sąlygomis grūdinant skirtingą plieną, gaunamas nevienodas rezultatas. Visa tai priklauso nuo plieno cheminės sudėties ir nuo jo struktūros.

Grūdinimas yra atliekamas tam skirtose patalpose naudojantis SNOL 35/1200, kuri yra universali, didelio tikslumo elektros krosnis skirta termiškai apdorojant įvairių medžiagų ir keramikos esant temperatūrai nuo 20 °C iki 1200 °C stacionarioms sąlygoms 2.3 pav.

**2.3 Lentelė.** Techniniai SNOL 35/1200 krosnies parametrai [12]:

Maksimali temperatūra	1200 °C
Vidaus matmenys	250x400x350mm
Kameros medžiaga	Mūrinė
Kameros tūris	35 l
Galingumas	7,5 kW
Svoris	200 Kg

Visi bandiniai SNOL krosnyje įkaitinami nuo kambario temperatūros  $t=20$  °C iki 500 °C greičiu 200 °C/ val.

$$t_1 = \frac{500-20}{200} = 2.4 \text{ val.} \quad (2.2)$$

Įkaitinimo laikas yra  $t_1=2$  val. 24 min.

Tolimesnis įkaitinimas yra nuo 500 °C iki 750 °C greičiu 250 °C/ val . Antras įkaitinimo laikas yra  $t_2=1$  val.

$$t_2 = \frac{750-500}{250} = 1 \text{ val.} \quad (2.3)$$

Išlaikymas temperatūroje 750 °C trukmė  $t_3= 30$  min. ( Nes kiekvieno bandinio storis yra 30 mm)

Aušinimas vyksta alyvoje nuo 750°C iki 20°C , pirmo etapo aušinimo greitis 120°C/s , o vėliau aušimo greitis mažėja kol galiausiai sumažėja iki 1°C/s . Taigi aušinimo laikas yra apie  $t_4=6$ s.

## 2.2 Terminio atleidimo procesas

Atleidimas yra užgrūdinto plieno įkaitinimas iki ne aukštesnės kaip (727 °C) temperatūros ir išlaikymas joje tam tikrą laiką ir lėtas ataušinimas [2]. Atleidimo temperatūra yra parenkama

pagal gaminio kietumą, kuomet jis buvo termiškai apdorotas. Plieno minkštumas priklauso nuo temperatūros dydžio, kuomet išlaikymo trukmė atleidimo metu priklauso nuo atleidimo temperatūros, detalių didumo.

Atleidimui bus naudojamas SNO - 4h8h 2,5 / 10I2 ( Rusija) oksidacinė krosnis 2.4 pav. (Priedas 1).



**2.4 pav.** SNO - 4h8h 2,5 / 10I2 oksidacinė krosnis [13].

**2.4 Lentelė.** SNO-4h8h2,5 / 10I2 oksidacinės krosnies techninė specifikacija [13]

Galia	25 W
Maitinimo įtampa	380 V
Nominalus dažnis	50 Hz
Darbinė temperatūra	1000 ° C
Krosnies atmosfera	Oksidacinė
Didžiausias pakrovimo svoris	220 Kg
Krosnies svoris	2010 Kg
Yra valdymo spinta	+

Norint pasirinkti tinkamą atleidimo temperatūrą reikia paskaičiuoti pliene esantį anglies ekvivalento skaičių ir žinoti norimą gauti bandinių kietumą (plienas C45).

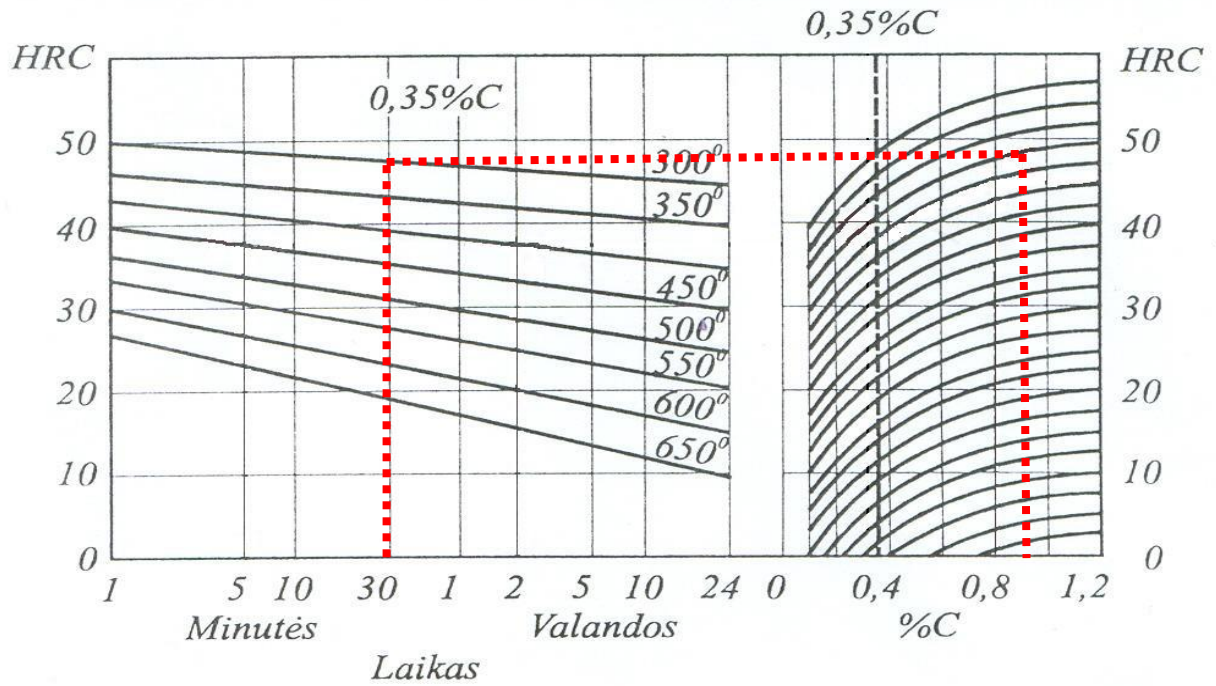
Anglies ekvivalento skaičiavimas [14] :

$$C_{ekv.} = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \left( \frac{Cr\% + Mo\% + V\%}{5} \right) + \left( \frac{Ni\% + Cu\%}{15} \right) + \left( \frac{Si\%}{24} \right); \quad (2.4)$$

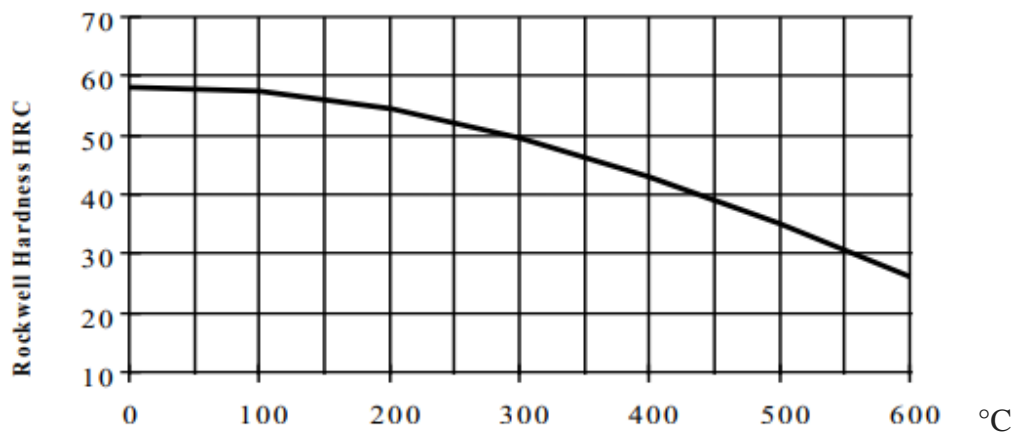


$$C_{ekv.} = 0,5 + \frac{0,8}{6} + \left(\frac{0,25+0+0}{5}\right) + \left(\frac{0,25+0,25}{15}\right) + \left(\frac{0,37}{24}\right) \approx 0,97\% \quad (2.5)$$

Žinant ekvivalento skaičių galima pasinaudoti P. Guliajevo nomograma ir nustatyti atleidimo temperatūrą. Nomogramoje raudona taškinė linija nurodo kokioje temperatūroje ir kiek laiko joje reikia išlaikyti ruošinius 2.5 pav.



2.5 pav. P. Guliajevo atleidimo nomograma [15].



2.6 pav. C45 plieno kietumas pagal atleidimo temperatūrą [16].

Nustačius reikiamą atleidimo temperatūrą ir išlaikymą joje yra pradedamas įkaitinimas elektrinėje krosnyje nuo kambario temperatūros (20°C) iki 300°C greičiu 150°C/h. Kaitinimo laikas yra  $t_5=1\text{ val. }52\text{min}$

$$t_5 = \frac{300-20}{150} = 1\text{ val. }52\text{min} \quad (2.6)$$

Išlaikymas temperatūroje 300°C . Išlaikymas trunka  $t_6=30\text{min}$  pagal P. Guliajevo atleidimo nomogramą 2.5 pav.

Po atleidimo detalės aušta ore iki kambario temperatūros (20°C) , t.y. nuo 300°C iki 20°C pradžioje greičiu 3°C/s , o vėliau aušinimo greitis sumažėja iki 1°C/s . Vidutinis aušinimo laikas yra  $t_7= 70\text{ s}$ .

$$t_7 = \frac{300-20}{3+1} = 70\text{s} \quad (2.7)$$

Bendras plieno 45 terminio apdorojimo laikas

$$t_{bendras} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 \quad (2.8)$$

$$t_{bendras} = 2\text{val. }24\text{min} + 1\text{val. } + 30\text{ min} + 6\text{ s} + 1\text{val.}52\text{min} + 30\text{min} + 70\text{ s} = 6\text{val. }17\text{min }16\text{ s.}$$

**2.5 Lentelė . Terminio apdorojimo duomenys**

1	Įrenginiai	Krosnis		
2	Rėžimas	Žingsnis	Laikas	Temperatūra °C
		1.	2val. 24min	500
		2.	3val. 24min	750
		3.	3val. 54min	750
		4.	3val. 54min 6s	20
		5.	5val. 46min 6s	300
		6.	6val. 16min 6s	300
		7.	6val. 17min 16s	20
3	Panaudojimas	Toks plienas naudojamas išskirtinai įrankių, ginklų, instrumentų gamyboje: kumpliaračio veleno, alkūninio veleno, kumštelinio veleno ir kitų kumpliaračių, špindelių gamyboje.		

4	Atlikimo eiga	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Skirtingų tiekėjų strypus supjaustyti į bandinius po 150mm ilgio. Juos gerai nuvalyti .Tada sukrauti eilėmis į vežimėlį ir įstūmti į krosnį .</li> <li>2. Krosnyje bandinius užgrūdinti</li> <li>3. Išimti iš krosnies bandinius ir aušinti alyvoje</li> <li>4. Bandinius sukrauti į vežimėlį ir įstumti į atkaitinimo krosnį</li> <li>5. Atvėsus krosniai, išjungti ją, atidaryti duris . Ištraukus vežimėlį atvėsinti bandinius ir juos perkrauti į termo dėžę. Dėžę pastatyti tam tikroje zonoje .</li> </ol>
---	---------------	--

## 2.3 Kietumo tyrimas naudojant Rokvelio metodą

Kietumo matavimui reikia paruošti bandinius, juos nuvalyti su švitrinium popieriumi arba nusmėliuoti su smėlio srove, jog ant paviršiaus neliktų anglies nuosėdų. Tuomet galima matuoti bandinio kietumą HRC su Rokvelio matavimo prietaisu 2.7 pav.

Rokvelio metodas yra pagrįstas įspaudo gylio matavimu metale. Specialiu Rokvelio matavimo presu į metalo paviršių įspaudžiamas kūgis su deimantine viršūne (2.8 pav.) arba 1,59 mm skersmens rutuliukas iš grūdinto plieno ir preso skalėje rodyklė iš karto parodo kietumą pagal Rokvelį (Priedas 4).



2.7 pav. Rockwell kietumo testeris 5006 [17].

2.6 Lentelė. Rockwell kietumo testerio TP 5006M techniniai duomenys [17]

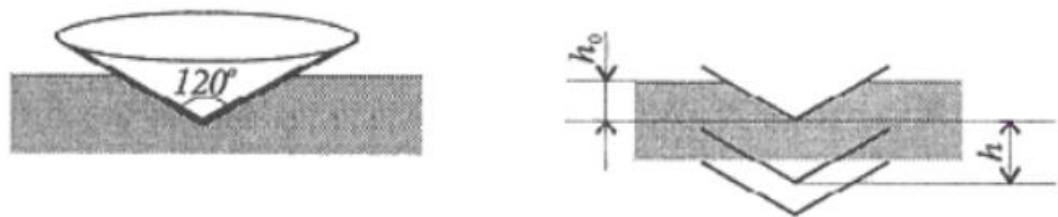
Kietumo matavimo diapazonas	skalė A nuo 70 iki 95 HRA
	skalė B nuo 25 iki 100 HRB
	skalė C nuo 20 iki 70 HRC
Pagrindinės apkrovos programos trukmė yra reguliuojama	2 - 8 sekundes
Gabaritinis matavimo diapazonas	nuo 0 iki 200 mm
Prietaiso gabaritai	300x535x630 mm
Prietaiso svoris	80 kg

Tiriant Rokvelio metodu, yra galimybė tyrimą atlikti trimis būdais :

1. Į kietąsias medžiagas, tokias kaip grūdintą plieną, 150 kgf jėga įspaudžiamas deimantinis kūgis, kurio viršūnės kampas 1200, ir kietumas HRC atskaitomas C skalėje.
2. Į labai kietas medžiagas, pavyzdžiui, kietlydinius, taip pat plonasienius gaminius šis deimantinis kūgis įspaudžiamas 60 kgf jėga, ir kietumas HRA atskaitomas A skalėje.
3. Į minkštesnes medžiagas, pavyzdžiui, atkaitintą plieną ir spalvotųjų metalų lydinius 100 kgf jėga įspaudžiamas 1,59 mm skersmens grūdinto plieno rutuliukas ir kietumas HRB atskaitomas B skalėje.

Kietumui nustatyti naudojant Rokvelio metodą, pirmiausia sudaroma pradinė apkrova 10 kgf (įspaudų gylis  $h_0$ ). Mažoji skalės rodyklė reikalinga, kad ši apkrova būtų kontroliuojama. Po to sudaroma pagrindinė apkrova (įspaudų gylis  $h$ ), kurią rodo didžioji skalės rodyklė .

Matuojant kietumą Rokvelio metodu įspaudas yra mažesnis už Brinelio, todėl Rokvelio metodu galima matuoti ir plonasienių gaminių kietumą.

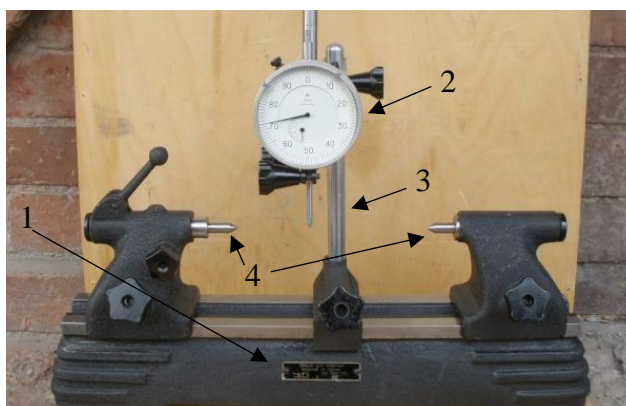


**2.8 pav.** Kietumo nustatymo Rokvelio metodu schema [18].

Užgrūdinti bandiniai matuojami pagal Rokvelio pirmą būdą. Tam reikia pasiringti tinkamą antgalį ant kurio bus padėtas ruošinys. Užėjus ruošinį jam skirtoje vietoje ruošinys yra keliamas ratuko pagalba, kuris yra matavimo aparato apačioje, tol kol bandinys įsiremia į matavimo smeigės viršūnę. Kai prietaisas su bandiniu yra paruošti, šone esanti svirtis atleidžiama ir C skalėje yra matomas bandinio kietumas pagal Rokvelį [18].

## 2.4 Ašinio mušimo tyrimas

Ašinio mušimo tyrimas atliekamas su tam skirtu mechaniniu prietaisu kurio pagrindines dalis sudaro stovas ant kurio yra dvi smeigės skirtos detalėms išcentruoti ir indikatorius kurio pagalba galima nustatyti ašinį mušimą. Nuo indikatoriaus tikslumo priklauso ir matavimo tikslumas 2.9 pav.



**2.9 pav.** Ašinio mušimo matavimo prietaisas: 1- stovas; 2- indikatorius; 3- kojalė; 4- smeigės; [19].

Su šiuo mecažhanizmu matuoti yra labai paprasta tiesiog reikia iš po terminio apdorojimo pravalyti ruošinių galuose esančias centravimo skylutes ir įstatyti ruošinį tarp centravimo smeigių ir užvirtinti mechanizma taip jog ruošinys nekilbėtų bet tuo pačiu ir laisvai galėtų sukis tarp centravimo smeigių. Tuomet yra privedamas indikatorius ir ant indikatoriaus skalės nustatomas nulinis taškas tam kad būtų lengviau stebėti ir nustatyti didžiausią rodyklės nuokrypį nuo nulinės padėties. Ir taip užfiksuoti duomenis 2.10 pav.



**2.10 pav.** Ašies ašinio mušimo matavimas

### 3. Plieno terminio apdorojimo rezultatai

#### 3.1 C45 plieno kietumo tyrimo rezultatai po terminio apdorojimo

Buvo atliktas C45 plieno kietumo tyrimas ir matavimo rezultatai yra patenkinami (3.1 lentelė), išskyrus vieną tiekėją, kurio pateikta medžiaga nepasiekė reikiamo kietumo. Del šios priežasties yra sugaištamas papildomas laikas pergrūdinat bandinius norint gauti reikiamą kietumą ir tai reikalauja papildomų kaštų. Iš tiriamų ruošinių yra gaminama stūmikliai, kurie naudojami ginklų pramonėje 3.1 pav.

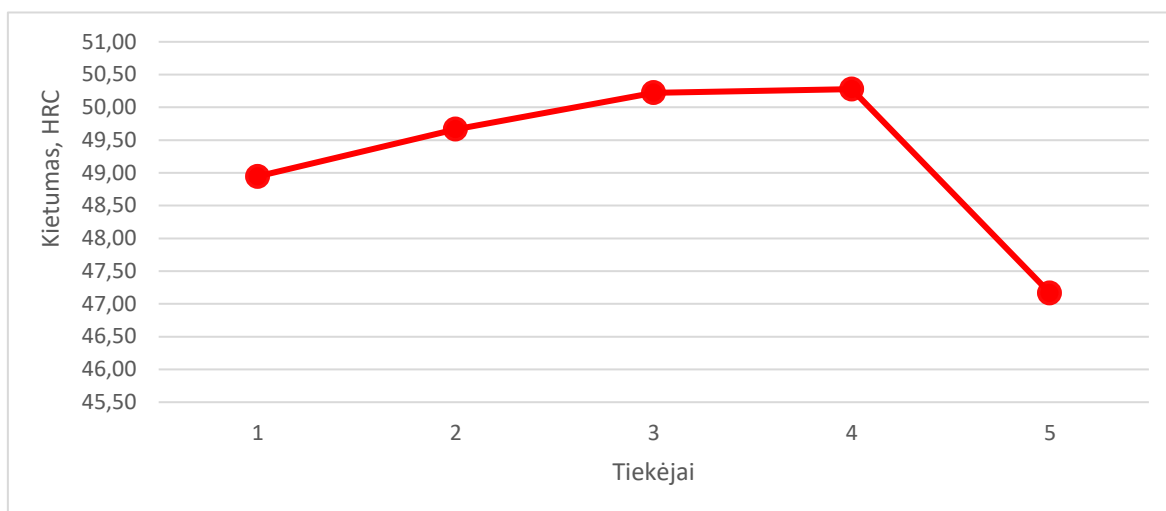


**3.1 pav.** Pagamintas stūmiklis pagamintas iš C45 plieno

Tam kad rezultatai būtų geriau suprantami yra išvedami vidurkiai kiekvieno tiekėjo visų bandinių atskirai ir rezultatai pateikiami grafike 3.2 pav. (Priedas 5).

**3.1 Lentelė.** Kietumo matavimo rezultatai

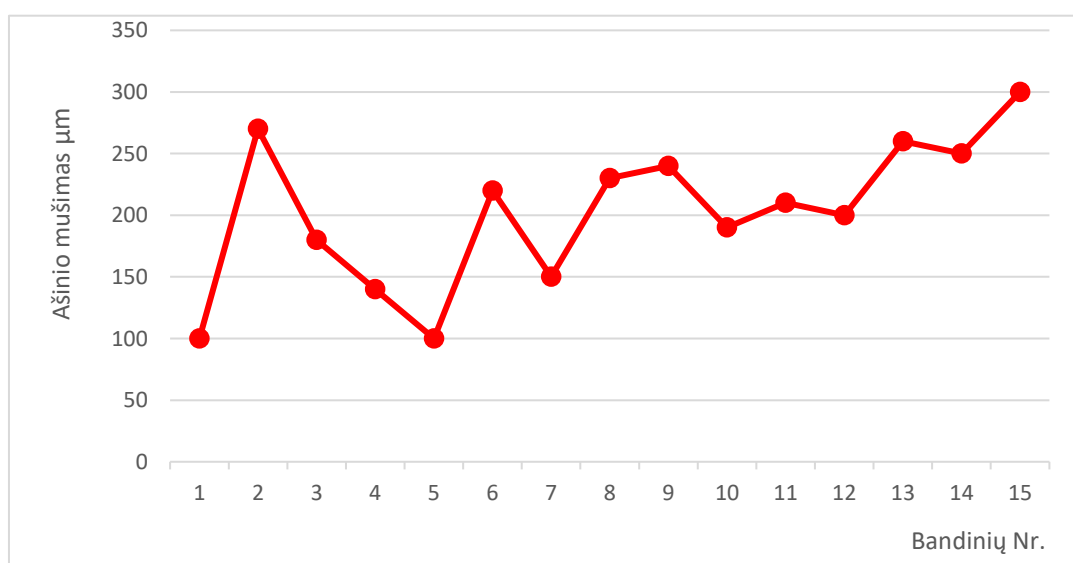
Tiekėjai	1 tiekėjas			2 tiekėjas					
Kietumas	HRC								
Pirmas matavimas	49	49	49	50	49,5	50			
Antras matavimas	48,5	49	49	50	49,5	50			
Trečias matavimas	49	49	49,5	50	49,5	49,5			
Tiekėjai	3 tiekėjas			4 tiekėjas			5 tiekėjas		
Kietumas	HRC								
Pirmas matavimas	50,5	50	50	50,5	50	50,5	47	47,5	47
Antras matavimas	50	50	50,5	50,5	50	50	47	47	47
Trečias matavimas	50,5	50	50,5	50,5	50	50,5	47,5	47,5	47



**3.2 pav.** C45 plieno kietumo matavimo rezultatų vidurkiai

### 3.2 C45 plieno ašinio mušimo rezultatai

Po terminio bandinių apdorojimo kiekvienas strypas deformuojasi nepriklausomai vienas nuo kito. Deformacijos parodo kaip plieno viduje terminio apdirbimo metu veikė viduje esantys įtempiai. Ašinio mušimo matavimas padeda nustatyti kiek kiekvienas bandinys deformavosi ir pakeitė savo formą nuo pradinės formos. Pagal tai galima nustatyti kokią užlaidą reikia palikti šlifavimo operacijoms po terminio apdorojimo. Kuo užlaida didesnė, tuo šlifavimas užtrunka ilgiau ir sugaištas laikas kainuoja papildomus pinigus įmonei 3.3 pav.



**3.3 pav.** Ašinis C45 plieno bandinių mušimas



Iš C45 plieno ašinio mušimo tyrimo gauto grafiko, kuris pavaižduotas 2.10 pav. galima pastebėti jog bandinių deformacijos ašies atžvilgiu vidutiniškai kinta nuo 0,1mm iki 0,3mm. Tai reiškia, kad po terminio apdorojimo minimali ruošinių užlaida turėtų būti 0,3mm per visą diametrą.

### 3.3 Plieno 40X kietumo tyrimo rezultatai po terminio apdirbimo

Gauti 40X plieno kietumo tyrimo rezultatai yra patenkinami buvo ištirti bandiniai iš kurių gaminamos grežimo galvučių ašelės vienos rūšies grežimo mašinoms. Tyriamų ašių skaičius 22 vienetai nes į vieną grežimo galvą dedasi 11 ašių 3.4 pav. (Priedas 6).

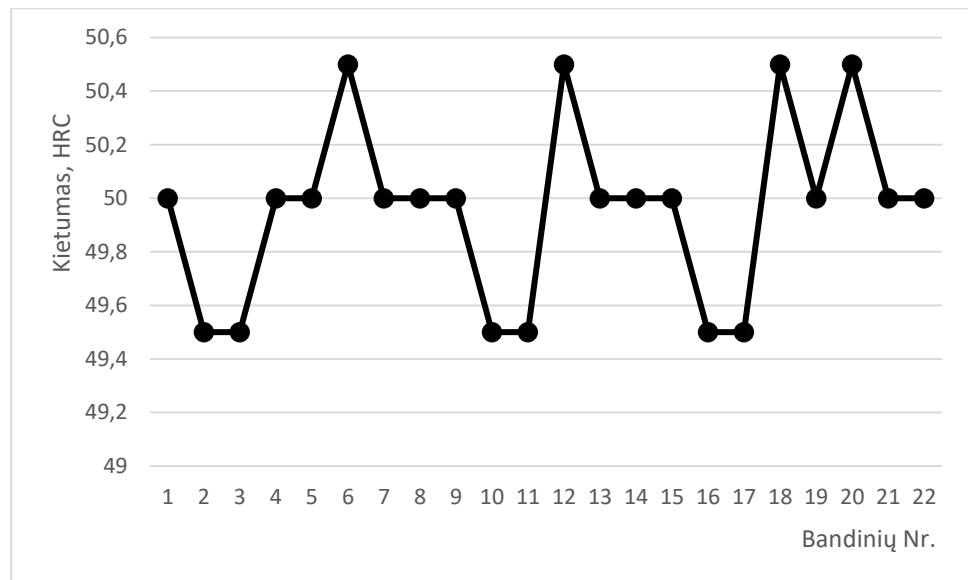


3.4 pav. Pagaminta grežimo galvos ašis iš 40X plieno

Plieno 40X atlikto kietumo tyrimo duomenys yra 3.2 lentelėje, tam jog būtų lengviau analizuoti duomenis iš lentelės duomenų yra pateiktas grafikas 3.5 pav.

3.2 Lentelė. Kietumo matavimo rezultatai

Bandinių Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kietumas	HRC										
Matavimas	50	49.5	49.5	50	50	50.5	50	50	50	49.5	49.5
Bandinių Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Kietumas	HRC										
Matavimas	50.5	50	50	50	49.5	49.5	50.5	50	50.5	50	50

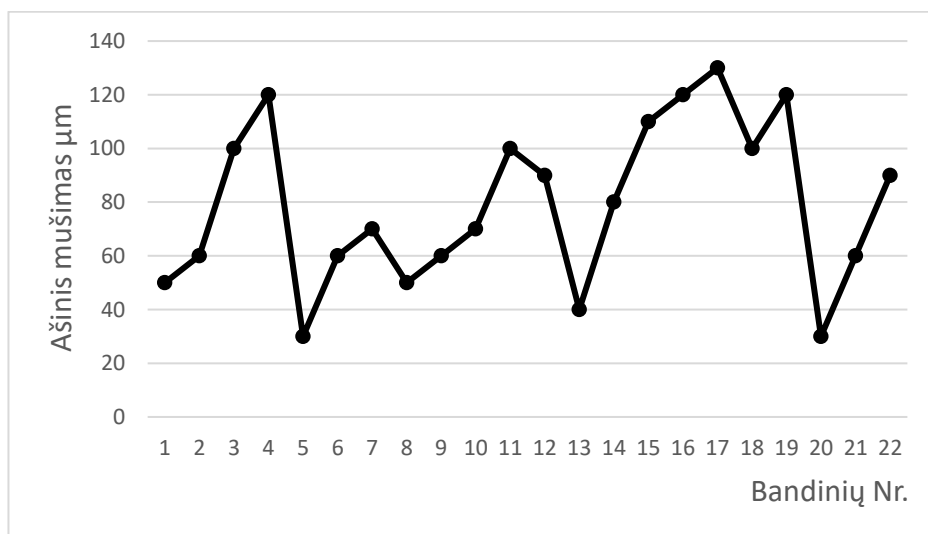


**3.5 pav.** 40X plieno kietumo matavimo rezultatai

Plieno 40X grafiko duomenys leidžia teigti jog po grūdinimo kietumas, kuris turi būti 50 HRC, nuo reikiamo rezultato svyruoja 0,5 HRC į pluso ar minuso pusę, tai yra rezultatas tenkinantis detalės kokybę po terminio apdorojimo.

### 3.4 Plieno 40X ašinio mušimo rezultatai

Po terminio bandinių apdorojimo kaip ir C45 taip ir 40X plieno ruošiniai deformuojasi nepriklausomai vienas nuo kito. Deformacijos parodo kaip plieno viduje terminio apdirbimo metu veikė viduje esantys įtempiai. Ašinio mušimo matavimas padeda nustatyti kiek kiekvienas bandinys deformavosi ir pakeitė savo formą nuo pradinės formos.



**3.6 pav.** Ašinis 40X plieno bandinių mušimas

Pagal tai galima nustatyti kokią užlaidą reikia palikti šlifavimo operacijoms po terminio apdorojimo. Rezultatai yra pateikti grafiniu pavidalu 3.6 pav. Iš grafiko duomenų matosi, jog deformacija ašies atžvilgiu kinta labai nedaug, nuo 0,03 iki 0,13mm, tai leidžia teigti kad šis plienas yra kokybiškas ir tinkamas tokių ašių gaminimui.

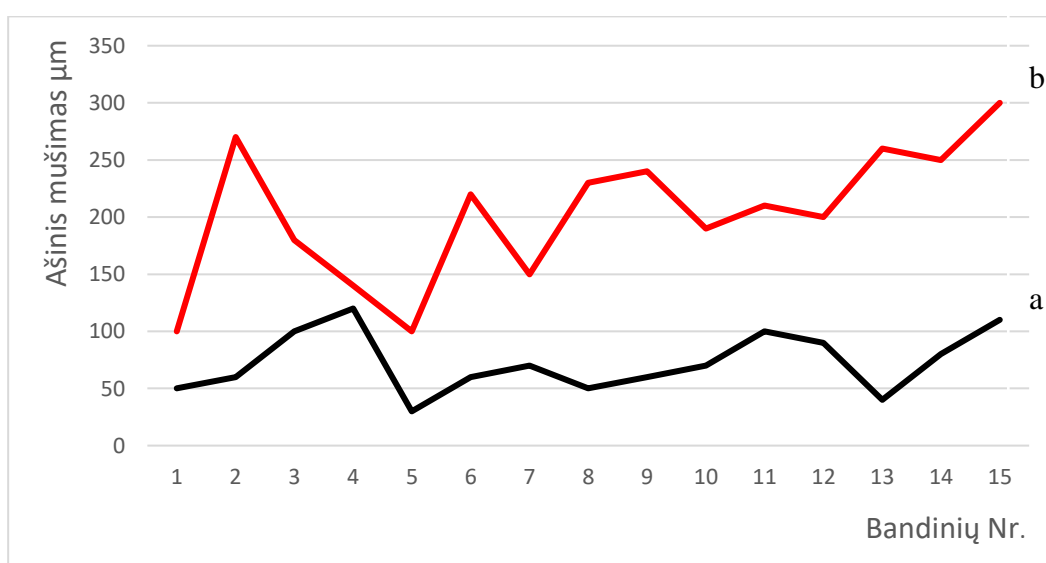
### 3.5 C45 ir 40X plienų palyginimas

Abi plieno rūšis galima apdirbti termiskai, virinomo, mechaniniais būdais. Panaudojimo sritys taip pat yra ganėtinai panašios žinoma jeigu detalės nereikia grudinti tai C45 plienas yra labiau tinkamas nes jį apdirbti yra lengviau ir medžiagos kaina yra mažesnė negu 40X plieno.

3.3 Lentelė. Palyginimo lentelė

Plienas	C45	40X
Kietmas, HRC	49,3	50
Ašinis mušimas, $\mu\text{m}$	202,7	79

Lyginant po terminio apdorojimo C45 ir 40X plienų gautus rezultatus šiuo atveju kietumo ir ašinio mušimo, imant tik visų duomenų vidurkius yra matomi skirtumai 3.3 lentelė. Abiejų plienų kietumas yra labai panašus po terminių procesų tačiau ašinis mušimas C45 plieno yra keturis kartus didesnis o tai reiškia jog ant C45 plieno ruošinių vidutiniškai reikėtų palikti keturis kartus didesnę užlaidą terminiam apdorojimui negu 40X plienui. Visa tai puikiai matyti 3.7 pav.



3.7 pav. Ašinio mušimo palyginimo diagrama: a- 40X plienas; b- C45 plienas

## Išvados

1. Išanalizuota metalų terminio apdorojimo procesai, ir juose vykstantys virsmai ir defektai, atsidandantys dėl virsmuose įvykstančių nenumatytų procesų. Tai galima pastebėti išanalizavus tam skirtus matavimo prietaisus ir jų matavimo būdus.

2. Buvo sudaryta C45 plieno terminio apdorojimo technologija nuo ruošinių paruošimo iki grūdinimo bei atleidimo. Terminio apdorojimo laikas yra 6val. 17min 16s.

3. Ištyrus skirtingų tiekėjų C45 plieno badiusus po terminio apdorojimo procesų, buvo nustatyta, jog vieno iš tiekėjų bandiniai nepasiekė reikiamo kietumo ir net kietumas buvo mažesnis už vidutinį kitų tiekėjų kietumą 3 HRC vienetais.

4. Po terminio apdorojimo plienų C45 ir 40X vidutinis kietumas pagal Rokvelio metodą buvo C45 – 49,3 HRC, o 40X – 50 HRC. Lyginant C45 ir 40X plieno ašines deformacijas ir kietumą po terminio apdorojimo, abiejų plienų kietumas po matavimo skiriasi tik 0,7 HRC.

5. Atlikus ašinio mušimo tyrimą po terminio apdirbimo gautas vidutinis ašinis mušimas C45 plieno – 202,7  $\mu\text{m}$ , o 40X – 79  $\mu\text{m}$ . Tai reiškia, kad plienas 40X yra mažiau besideformuojantis po terminio apdorojimo negu plieno C45.

## Literatūros sąrašas

1. Terminio apdorojimo technologijos, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–06–10]:  
<https://vdocuments.site/documents/terminio-apdorojimo-technologijos.html>
2. V. Juodelis, J. Bendikas, A. V. Valiulis. Metalotyros pagrindai. Mokomoji knyga. 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius: Technika, 2004. 159 p.
3. Plieno terminio apdorojimo rūšys, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–10–02]:  
<http://greenstore.lt/plieno-terminio-apdirbimo-rusys/>
4. Metalų apdirbimas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–06–10]:  
<http://www.mechanica.lt/lt/metalo-grudinimo-alyva>
5. P. Ambroza, L. Kavaliauskienė. Kaunas: Technologija, 2011, 50p.
6. V. Rudzinskas, O. Černašėjus. Aviacinės medžiagos: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012, 107 p.
7. Krosnys, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–11–01]:  
<https://www.linn-high-therm.de/>
8. Terminio apdorojimo kokybės užtikrinimas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–06–10]:  
<https://vdocuments.site/>
9. Kietumo matavimo prietaisų katalogas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–09–09]:  
[http://www.indentec.com/leaflets/en\\_brochure\\_indentec-hardness-testing-overview.pdf](http://www.indentec.com/leaflets/en_brochure_indentec-hardness-testing-overview.pdf)
10. C45 plieno katalogas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–09–09]:  
<http://www.steel-plate-sheet.com/Steel-plate/EN/C45.html>
11. C45 plieno katalogas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–09–09]:  
<http://www.plienmetas.lt/aukostos-kokybes-konstrucinis-plienas/45-c45-1-0503/>
12. Krosnies katalogas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–09–09]:  
<http://snol-ukraine.biz-gid.ru/products/unit?pid=200205>
13. Atkaitinimo krosnies katalogas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–08–20]:  
<http://kristall-service.net/non-liquid/electr/>
14. Anglies ekvivalentas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–06–10]:  
<https://.angl.org/energetika>
15. Prieiga per internetą [žiūrėta 2017–11–09]:  
<http://5fan.ru/wievjob.php?id=49061>
16. Dimo katalogas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–09–09]:  
[file:///C:/Users/Akvile/Downloads/20160215103029-dimo\\_c45\\_02\\_2015\\_e.pdf](file:///C:/Users/Akvile/Downloads/20160215103029-dimo_c45_02_2015_e.pdf)
17. Kietumo testeris, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–09–09]:  
<http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/tverdomery/tverdomer-tr-5006>

18. Prieiga per internetą [žiūrėta 2017–11–09]:

<http://www.indentec.com/en/>

19. Mušimo matavimo prietaisas, prieiga per internetą [žiūrėta 2017–11–03]:

<https://www.prostanki.com/board/item/58798>

## 1. Piedas. SNO-4h8h2,5 / 10I2 oksidaciné krosnis

### Электродпечь сопротивления камерная СНО-4х8х2,5/10I2



#### Общие сведения

Электродпечь сопротивления камерная СНО-4х8х2,5/10I2 (ТУ 16-531.554-73) осуществляет нагрева изделий в окислительной атмосфере до 1000 °С.

Электродпечь сопротивления камерная СНО-4х8х2,5/10I2 предназначена для нагрева деталей под закалку, для термообработки высоколегированных и быстрорежущих сталей, отжига стальной проволоки и ленты, керамики.

Электродпечь представляет собой сварной каркас, зафутерованный теплоизоляционными материалами и огнеупорным кирпичом, образующим рабочую камеру.

Вид климатического исполнения УХЛ4 и О4 по ГОСТ 15150 – 69. Электродпечи сохраняют свои параметры в пределах нормы при воздействии механических факторов внешней среды по группе М1 ГОСТ 17516 – 72.

Электродпечь произведена в 1980 году. На данный момент **находится в рабочем состоянии.**

Стоимость электродпечи - договорная

#### Технические характеристики

Наименование параметров	Значение
Установленная мощность, не более	25 кВт
Напряжение питающей сети	380 В
Номинальная частота	50 Гц
Рабочая температура	1000 С°
Атмосфера электродпечи	окислительная
Максимальная масса загрузки	220 кг
Размер рабочего пространства:	
длина	800 мм
ширина	400 мм
высота	250 мм
Масса печи	2100 кг
Масса футеровки	1 100 кг
Шкаф управления	есть

## 2. Piedas. C45 plenas

### Material specification sheet

#### Saarstahl - C45

Material No:	Former brand name:	International steel grades:
1.0503		BS: C45, 50CS, 080M46 AFNOR: C45, AF65C45, 1C45 SAE: 1045

**Material group:** Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083

Chemical composition: (Typical analysis in %)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni
	0,42 0,50	<0,40	0,50 0,80	<0,045	<0,045	<0,40	<0,10	0,40	<0,63

**Application:** Plain carbon steel for mechanical engineering and automotive components

<b>Hot forming and heat treatment:</b>	Forging or hot rolling:	1100 - 850°C
	Normalising:	840 - 880°C/air
	Soft annealing:	680 - 710°C/furnace
	Hardening:	820 - 860°C/water, oil
	Tempering:	550 - 660°C/air

**Mechanical Properties:** Treated for cold shearability +S: max. 255 HB  
Soft annealed +A: max. 207 HB

Quenched and tempered, +QT:

Diameter d [mm]	< 16	>16 - 40	>40 - 100	>100 - 160	>160 - 250
Thickness t [mm]	< 8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	100<t<160
0,2% proof stress $R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	min. 490	min. 430	min. 370	-	-
Tensile strength $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	700 - 850	650 - 800	630 - 780	-	-
Fracture elongation $A_5$ [%]	min. 14	min. 16	min. 17	-	-
Reduction of area Z [%]	min. 35	min. 40	min. 45	-	-



Normalised, +N:

<b>Diameter d [mm]</b>	< 16	>16 – 100	>100 – 250		
<b>Thickness t [mm]</b>	< 16	16<t<100	100<t<250		
<b>0,2% proof stress R<sub>p0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	min. 340	min. 305	min. 275		
<b>Tensile strength R<sub>m</sub> [N/mm<sup>2</sup>]</b>	min. 620	min. 580	min. 560		
<b>Fracture elongation A<sub>5</sub> [%]</b>	min. 14	min. 16	min. 16		

### 3. Piedas. C45 plenas

# DIMO C45

## UNALLOYED CARBON TOOL STEEL FOR HIGH QUALITY HOLDERBLOCK APPLICATIONS

Material data sheet, edition February 2015<sup>1)</sup>

DIMO C45 is an unalloyed carbon tool steel for the construction of plastic mold assemblies. DIMO C45 is designed for holderblock applications requiring extensive machining and high dimensional stability as mold assemblies, ejector plates, supports, clamping plates and housings for diecasting dies.

### Product description

#### Designation and range of application

DIMO C45 is a modified version of C45 in accordance with DIN EN ISO 4957 (steel number 1.1730), DIN EN 10083-2 (steel number 1.0503 or 1.1191) respectively Grade 1045 in accordance with ASTM A 830 in holderblock quality.

DIMO C45 is available as plate with cut edges (sheared, flame cut or water jet cut) in the following dimensions:

Thickness	≥ 10 ≤ 130 mm	≥ <sup>3</sup> / <sub>8</sub> ≤ 5 in	> 130 ≤ 305 mm	> 5 ≤ 12 in
Width <sup>1)</sup>	≥ 1000 ≤ 3000 mm	≥ 40 ≤ 119 in	≥ 1000 ≤ 2050 mm	≥ 40 ≤ 80½ in
Length	≥ 3000 ≤ 6000 mm	≥ 119 ≤ 238 in	≥ 3000 ≤ 6000 mm	≥ 119 ≤ 238 in

<sup>1)</sup> Widths < 1500 mm (59 in) have to be ordered with an even number of plates

Other dimensions available upon request.

#### Production

The DIMO C45 production route is designed to achieve good machinability, dimensional stability and high cleanliness. The good oxidic cleanliness and the modification of remaining inclusions by the calcium treatment lead to good machinability and minimize the tool wear. These properties can only be achieved by the combination of the following DIMO C45-production steps:

- hot metal desulphurization
- vacuum degassing
- argon stirring for high sulfidic and oxidic cleanliness
- calcium treatment for inclusion shape control
- special casting conditions to assure the high cleanliness and homogeneity
- High Shape Factor Rolling (high thickness reduction) to realize a closely packed structure
- appropriate heat treatment parameters according to analysis and dimensions to assure homogeneous hardness distribution over the plate and to minimize residual stresses.

## Chemical composition

For the ladle analysis the following limiting values in % are applicable:

	C	Si	Mn	P	S	Cr <sup>al</sup>	Mo <sup>al</sup>	Ni <sup>al</sup>	Cr+Mo+Ni <sup>al</sup>
Limiting values	0,42 - 0,50	≤ 0,40	0,50 - 0,80	≤ 0,025	≤ 0,010	≤ 0,40	≤ 0,10	≤ 0,40	≤ 0,63
Auxiliary data	0,47	0,34	0,74	0,017	0,0020	0,040	0,012	0,040	0,09

<sup>al</sup> steel grades according DIN EN 10083-2

## Delivery condition

DIMO C45 is supplied in a stress relieved condition with a normalized ferrite-pearlite-microstructure. The normalizing can be replaced by a normalizing rolling. Cut edges are stress relieved by an appropriate heat treatment.

## Mechanical and physical properties in the delivery condition

### Hardness / Strength

Unless otherwise agreed the hardness at the surface in the delivery condition is 150 - 220 HBW. A tensile test acc. DIN EN 10083-2 can be agreed. The requirements of the standard have to be met.

### Physical properties (auxiliary data)

specific heat at [kJ/(kg K)]	20 °C						
	0,47						
specific heat at [Btu/(lb °F)]	68 °F						
	0,11						
thermal conductivity at [W/(m K)]	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C		
	48	49	49	48	47		
thermal conductivity at [Btu/(ft h °F)]	68 °F	210 °F	390 °F	570 °F	750 °F		
	27,7	28,3	28,3	27,7	27,2		
coefficient of thermal expansion between	20 °C and	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
10 <sup>-6</sup> [m/(mK)]		11,1	11,8	12,8	13,8	13,7	14,3
coefficient of thermal expansion between	68 °F and	210 °F	390 °F	570 °F	750 °F	930 °F	1110 °F
10 <sup>-6</sup> [in/(in °F)]		6,2	6,8	7,39	7,88	7,91	7,94

## Testing

- Heat analysis
- Dimension control
- Surface inspection
- Hardness  
The hardness (HBW) is tested on surface of a rolled mother plate
- Tensile test acc. DIN EN 10083-2 can be agreed
- Ultrasonic testing  
Unless otherwise agreed, ultrasonic testing is performed on each plate in accordance with EN 10160, class S2/E3, 100% of the surface.  
Upon request, an ultrasonic testing in accordance with ASTM A 578, Level C + S1 is possible. In this case the desired testing standard has to be indicated on the order.

Unless otherwise agreed, the results are documented in an inspection certificate 3.1 in accordance with EN 10204.

## Identification of plates

Unless otherwise agreed the marking is carried out via steel stamps with at least the following information:

- steel grade (DIMO C45)
- heat number
- number of mother plate and individual plate
- the manufacturer's symbol
- inspector's sign

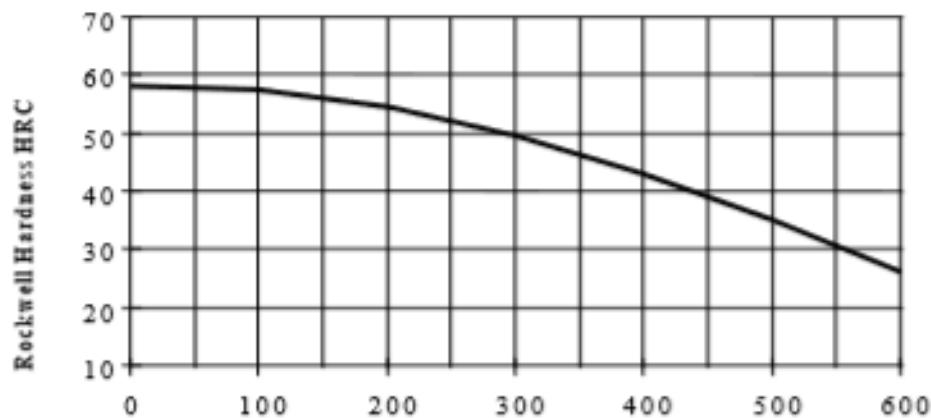
## Processing

### Heat treatment

DIMO C45 is generally applied in the delivery condition. Should a heat treatment become necessary, the following data are recommended depending on the complexity of the products:

soft annealing	stress relieving	hardening	tempering
680 - 710 °C (1260 - 1310 °F) 2 - 4 h, furnace cooling	in the delivery condition approx. 600 °C (1112 °F) 1 - 2 h; furnace cooling	820 - 880 °C (1508 - 1580 °F) / min. 30 min., water	in accordance with tempering diagram to required hardness

### Tempering diagram



Tempering temperature [°C] (valid for soaking time 1 h, air cooling)

Remark: the values in the diagram are mean values on samples,

diameter 25 mm (1 in), length 50 mm (2 in), hardened at 800 °C (1470 °F) in water

## General technical delivery requirements

Unless otherwise agreed, the general technical delivery requirements in accordance with EN 10021 apply.

## Tolerances

Unless otherwise agreed, tolerances are in accordance with EN 10029 with the following restrictions:

<b>plate thickness:</b>	in accordance with EN 10029, class C			
<b>plate width:</b>	$\geq 1000 \text{ mm} \leq 1500 \text{ mm}$	$\pm 25 \text{ mm}$	$\geq 40 \leq 59 \text{ in}$	$\pm 1 \text{ in}$
	$> 1500 \text{ mm} \leq 2050 \text{ mm}$	$\pm 40 \text{ mm}$	$> 59 \leq 80\frac{1}{2} \text{ in}$	$\pm 1\frac{1}{2} \text{ in}$
	$> 2050 \text{ mm}$	$\pm 50 \text{ mm}$	$> 80\frac{1}{2} \text{ in}$	$\pm 2 \text{ in}$
<b>plate length:</b>		$\pm 500 \text{ mm}$		$\pm 20 \text{ in}$
<b>flatness:</b>	$\leq 3 \text{ mm/m}$ ( $\frac{1}{8} \text{ in}/40 \text{ in}$ )			

## Surface quality

Unless otherwise agreed, the specifications will be in accordance with EN 10163-2 class A, subclass 3. Shot blasting of upper and lower surface of the plate and shop priming are possible on request.

## General note

If special requirements, which are not listed in this specification, are to be met by the steel due to its intended use or processing, these requirements are to be agreed before placing the order.

The information in this specification is a product description. This specification is updated if necessary. The latest version is available from the mill or as download at [www.dillinger.de](http://www.dillinger.de).

## 4. Piedas. Rockwell kietumo testeris 5006

### Описание и применение твердомер стационарный TP 5006:

Стационарный твердомер TP 5006 предназначен для измерения твердости металлов и сплавов, пластмасс, графитов и металлографитов по СТ СЭВ 137-74, фанеры, прессованной древесины и других материалов по методу Роквелла.

Твердомер TP 5006 применяется в цехах и лабораториях машино-строительных и металлургических предприятий, а также в лабораториях научно-исследовательских институтов. Твердомер 5006 включает в себя: отсчетную измерительную систему, систему нагружения, грузовую подвеску, механизм переключения нагрузок, привод, подъемный винт. Твердомер TP 5006 позволяет измерять твердость в соответствии со стандартами СТ СЭВ 468-77, СТ СЭВ 469-77, ISO 2039/2-81, TI-84 ASTM E18-84, DIN18-84.

### Технические характеристики твердомер по Роквеллу TP 5006M:

- Диапазон измерения твердости
  - по методу Роквелла: шкала А от 70 до 95 HRA;
  - шкала В от 25 до 100 HRB;
  - шкала С от 20 до 70 HRC;
- Испытательные нагрузки
  - предварительная - 98,07 Н;
  - по методу Роквелла - 588,4; 980,7; 1471 Н.
- Пределы допускаемой погрешности испытательных нагрузок предварительной -  $\pm 2\%$ ;
  - общих нагрузок: 588,4; 980,7; 1471 Н -  $\pm 0,5\%$ ;
  - 612,9; 1226; 1839 Н -  $\pm 1\%$ .
- Продолжительность времени приложения основной нагрузки регулируемая в пределах от 2 до 8 сек.
- Расстояние от вершины испытательного наконечника до рабочей плоскости стола регулируемое в пределах от 0 до 200 мм.
- Расстояние от центра отпечатка до корпуса прибора не менее 152 мм.
- Габаритные размеры (длина x ширина x высота) не более 300x535x630 мм.
- Масса прибора - 80 кг.

## 5. Pideas.

### MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL NO. 45 AFTER RAPID HEAT TREATMENT

B. P. Kolesnik

Translated from *Metallovdnie i Termicheskaya Obrabotka Metallov*, No. 3,  
pp. 36-39, March, 1963

Rapid heating in continuous flame furnaces is used for heat treatment of round objects with small cross sections (pipes, rods, rolled sections, etc.). Under these conditions heat treatment (quenching, normalization, tempering) consists in heating to the desired temperature at the rate of 2-10 deg/sec without the piece remaining at any temperature for any length of time [1].

We investigated\* the effect of the heating rate and temperature on the mechanical properties of steel No. 45. The results are comparable to those obtained for the same metal after ordinary heat treatment (where the metal remains for a certain time at the desired temperature). The samples of steel No. 45 had the following composition: 0.45% C, 0.81% Mn, 0.21% Si, 0.028% S, 0.024% P.

Samples 9 x 14 x 70 mm were heated, quenched, and then tempered in a laboratory electric furnace where four samples could be heated uniformly at the same time. The temperature was recorded continuously with a thermocouple fixed to the samples (in the center) and with a potentiometer.

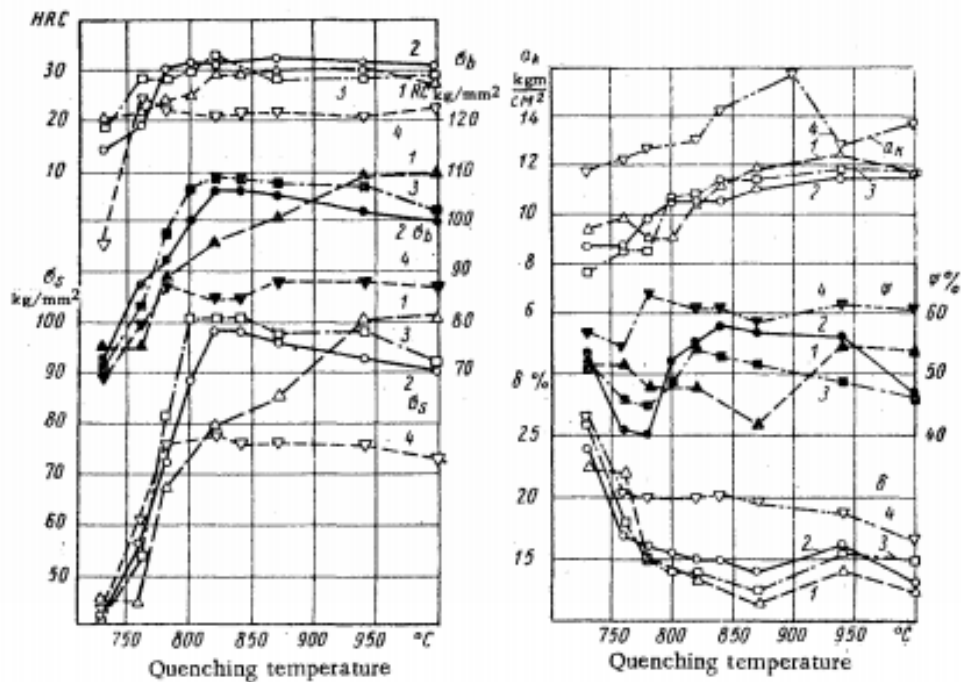


Fig. 1. Effect of quenching temperature on the mechanical properties of steel tempered at medium heating rates: 1) 8 deg/sec; 2) 4 deg/sec; 3) 1.8 deg/sec; 4) samples kept 30 min at quenching and tempering temperatures.

Experiments showed that even under the most unfavorable heating conditions (at the maximum heating rate) the difference in the temperatures of the samples did not exceed 10°C.

This difference decreases at lower heating rates. After the samples were heated to the desired temperature they were quenched in a bucket of water and tempered by cooling in air.

\* Yu. P. Odrinskii participated in this work.

To determine the effect of the quenching rate, the following experiments were made. The samples were heated to 730, 760, 780, 800, 840, 870, 940, and 1000°C at the rate of 1.8, 4, and 8 deg/sec, and quenched. After quenching, the samples were subjected to rapid tempering and were then heated to 600°C at the rate of 4 deg/sec.

The heating rate was varied by increasing or decreasing the difference between the temperature of the furnace and the desired heat treatment temperature. This difference was determined by graphs made in preliminary experiments.

For comparison, we subjected a series of samples to the same quenching and tempering temperatures, but the samples were kept at these temperatures 30 min.

The effect of rapid tempering was studied on another series of samples which were heated to 840°C at the rate of 4 deg/sec then quenched and tempered at 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, and 680°C. The heating rates were 1.5, 4, and 10 deg/sec. The samples were kept at these temperatures 30 min.

Twelve samples were used for each type of heat treatment and Gargarin samples were prepared from them. The diameter of the working part of these samples was 6 mm. Impact test samples 5 x 10 x 55 mm were also made from these samples, and were also used to determine hardness.

TABLE 1

Quenching temperature, °C	Quality coefficient, K, after:			
	heating to quenching temperature at different rates, deg/sec			ordinary heat treatment
	8	4	1.8	
730	3900	3820	3700	3930
760	3900	3570	3820	4350
780	4225	3720	4350	5480
820	4600	5820	5900	5200
840	—	6150	5830	5200
870	4240	5980	5550	5140
940	5880	5700	5250	5300
1000	5940	4700	4700	5240

TABLE 2

Tempering temperature, °C	Quality coefficient, K, after:			
	heating to quenching temperature at different rates, deg/sec			ordinary heat treatment
	10	4	1.5	
350	7200	—	6450	6500
400	7500	6730	—	6700
450	6860	6850	6600	6750
500	6750	6000	6900	6250
550	6080	6250	6350	5590
600	6450	5350	6100	5690
650	5400	5300	5840	5200
680	5400	5300	5500	5000

Figure 1 represents the variation of the indices of strength and plasticity of steel No. 45 as a function of the quenching temperature and the heating rate. The figure shows that when the heating rate is 1.8-4 deg/sec the increase of the quenching temperature from 730 to 780°C increases the hardness, the resistance to rupture, and yield point 1.5-2 times, and decreases the relative elongation and reduction in area. The resilience remains unchanged. These changes in the mechanical properties are due to incomplete quenching of the steel, since the samples were heated only to a temperature in the middle of the critical range.

It must be noted that after this heat treatment the reduction in area decreases, while the resilience does not change, i.e., the degree of heterogeneity of the structure is low.

The mechanical properties of samples treated at the same temperatures but kept at these temperatures 30 min are about the same as those of samples heated at the rate of 1.8-4 deg/sec. The heterogeneity of the structure is lower, and as a result, the resilience and the reduction in area are higher, than in the case of rapid heating.

The increase of the quenching temperature from 780 to 840°C (the heating rate being 1.8-4 deg/sec) increases the hardness, the yield point, the limit resistance to rupture, the resilience, and the reduction in area, while the relative elongation decreases somewhat.

When the heating rate is 8 deg/sec the strength indices increase, while the plasticity decreases.

An increase of the quenching temperature from 840 to 1000°C (the heating rate being 1.8-4 deg/sec) slightly decreases the resistance to rupture and the reduction in area; the resilience increases somewhat, while the relative elongation and hardness remain unchanged. This is probably due to homogenization of the composition of austenite.

Thus, at the heating rates investigated the character of the changes of the strength and plasticity of the steel does not change with increasing quenching temperatures.



## 6. Pideas.

### 40X / 41Cr4 / 1.7035

» 40X / 41Cr4 / 1.7035

#### Apvalus strypai

nuo Ø20mm iki Ø500mm

#### Lakštinis plienas

storis nuo 3mm iki 140mm

#### Juostos ir kvadratai

plotis nuo 20mm iki 500mm storis  $\geq 60$ mm

Description:

Chromium toughening steel; weldable and easily machinable,

Application:

axles, crankshafts, gear wheels, levers, connecting rods, components of bodies and tool grips, connecting elements, grinding wheels; after surface hardening for shafts, mandrels

Chemical composition [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Co	Cu
0,36- 0,45	0,5- 0,9	0,17- 0,37	max 0,035	max 0,035	0,8- 1,2	max 0,3	max 0,1	max 0,2	max 0,05	-	max 0,25

Equivalentents

PN	W. nr	EN	AISI	Russia (GOST)	Other
40H	1.7035	41Cr4	5140	40Ch	-

## Processes

welding	NO	
forging	YES	
rolling	YES	
nitriding	YES	
hardening	YES	temp. 820 – 870 [°C]
tempering	YES	temp. 500 – 670 [°C]

## Hardness

after toughening	max 55 HRC
after softening	240 HB
Rm	980 MPa
Re	780 MPa

## **7. Pideas.**