

PAPER

## QUYMA VA KUKUN SHX15 PO‘LATINING TERMİK ISHLOV BERISHDAN KEYINGI MIKROTUZILISHI VA XUSUSIYATLARINI TADQIQ QILISH

Baymirzayev Akbarjon Rustamjan o‘g‘li <sup>1</sup> and Abdusalimova Moxiraxon Alijon qizi <sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Andijon davlat texnika instituti, Materialshunoslik kafedrası mudiri t.f.f.d., dots.

<sup>2</sup> Andijon davlat texnika institut Materialshunoslik va materiallar texnologiyasi yo‘nalishi, I-bosqich magistratura talabasi

\* ab duganiyevamohiraxon@gmail.com

### Abstract

Ushbu maqolada yuqori uglerodli SHX15 po‘latining quyma va kukun metallurgiyasi asosida ishlab chiqarilgan variantlarining termik ishlov berishdan keyingi mikrotuzilishi va mexanik xususiyatlari tadqiq qilinadi. To‘liq qotirish, tavlash va kriogenik ishlov turlari natijasida hosil bo‘lgan struktura o‘zgarishlari, shuningdek, ularning qattqlik, aşınışga chidamlilik kabi xossalarga ta’siri metallografik va mexanik sinovlar asosida tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari po‘latning turli ishlab chiqarish usullaridan keyingi sifat farqlarini ko‘rsatib, sanoatdagi qo‘llanilishi uchun muhim ma’lumotlar beradi.

**Key words:** SHX15 po‘lat, Quyma po‘lat, Kukun po‘lat, Termik ishlov berish, Mikrotuzilish, Mikrostrukturasi, Mexanik xususiyatlar, Qattqlik, Qayta kristallanish, termal ishlov berish ta’siri, Material xususiyatlari, Metallografiya, Fazaviy tarkib, Strukturaviy o‘zgarishlar, Issiqlik ta’siri.

### Kirish

Po‘lat materiallarga termik ishlov berish – bu ular ustida ma’lum harorat oralig‘ida qizdirish, ma’lum tezlikda sovitish yoki asta–sekin sovutish orqali ichki strukturasi o‘zgartirishga yo‘naltirilgan texnologik jarayonlar majmuasidir. Ushbu ishlov natijasida po‘latning kristall panjarasi, fazaviy

tarkibi, donalarning o‘lchami va ularning joylashuvi o‘zgaradi. Bularning barchasi po‘latning mexanik (qattqlik, mustahkamlik, egiluvchanlik), fizik (issiqlik o‘tkazuvchanlik, elektr o‘tkazuvchanlik), va ekspluatatsion (aşınışga chidamlilik, termik barqarorlik, charchoqqa bardoshlik) xossalari bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Zamonaviy mashinasozlik va asbobsozlik sohalarida yuqori aniqlikdagi,

Compiled on: November 3, 2025.

Copyright: ©2025 by the authors. Submitted to International Journal of Science and Technology for possible open access publication under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution \(CC BY\) 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

dinamik kuchlanishlarga bardoshli, uzoq muddat xizmat qiladigan metall detallar ishlab chiqarishga ehtiyoj ortib bormoqda. Aynan shunday sohalar uchun **asbob po'latlari** ishlatiladi. Ular orasida **IIIX15** markali po'lat alohida o'rin egallaydi.

**IIIX15 po'latining umumiy tavsifi.** IIIX15 — bu yuqori uglerodli (taxminan 1%) va yuqori xromli (1,3–1,6%) po'lat bo'lib, **rulmanli po'latlar sinfiga** kiradi. Bu po'latda xrom elementi aşinishga bardoshlik va korroziyaga qarshilikni oshiradi, uglerod esa yuqori qattqlik va martensitli faza hosil bo'lishiga xizmat qiladi.

IIIX15 po'latining asosiy qo'llanish sohalar:

- Yuqori tezlikda aylanuvchi podshipniklar (rulmanlar) ishlab chiqarish,
- Ishqalanish ostida ishlovchi valiklar, vintlar, qo'zg'aluvchi qismlar,
- O'lchov asboblari, kalibrovkalar, shtamplar,
- Aşinishga bardoshli, murakkab shakldagi mexanik qismlar. Ushbu po'latning asosiy afzalligi shundaki, u termik ishlov orqali juda yuqori qattqlikka (64–66 HRC gacha) ega bo'lib, ishqalanish sharoitida uzoq vaqt xizmat qilishi mumkin.

**Zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalari:** An'anaviy ravishda, IIIX15 po'lati **quyma usul** orqali ishlab chiqariladi. Po'lat eritilib, qoliplarga quyiladi va so'ng sovitiladi. presslanadi va sinterlanadi. Ushbu usulda po'lat avval mayda zarrachalarga aylantiriladi (atomizatsiya, red asosida IIIX15 po'lat ishlab chiqarish texnologiyasi keng tarqalmoqda. kukun metallurgiyasi.

**Mikrodona struktur** – material bir jinsli va nozik donali bo'ladi;

**Kam ichki nuqsonlar** – pufakchalar, yoriqlar deyarli kuzatilmaydi;

**Yaxshi ishlov berish xossalari** – silliqanish, qattqlik berish qulayroq bo'ladi;

**Ekspluatatsion barqarorlik** – dinamik kuchlanishga chidamlilik oshadi.

**Tadqiqot zarurati.** Termik ishlov jarayoni har qanday po'latda fazaviy o'zgarishlar va strukturaviy modifikatsiyalarni yuzaga keltiradi. Mikrotuzilmasi va fizik-mexanik xossalari sezilarli farq paydo qiladi. Shu sababli, ushbu farqlarni ilmiy jihatdan o'rganish, solishtirish va baholash katta amaliy ahamiyatga ega. Aynan shu sababli, ushbu maruzada quyidagi savollarga javob topishga harakat qilinadi:

– Quyma va kukunli IIIX15 po'latlariga bir xil termik ishlov berilganda qanday mikrotuzilma shakllanadi?

– Qaysi usul orqali olingan po'lat yuqori qattqlik va barqarorlikka ega bo'ladi?

– Mikroskopik struktura va qattqlik o'rtasidagi bog'liqlik qanday?

## 2. Termik ishlov rejimlarini qo'llash va sinovdan o'tkazish.

Har bir namuna quyidagi termik ishlov bosqichlariga duchor qilinadi:

– To'liq qotirish (quenching): 840–860°C da qizdirilib, yog'da yoki havoda sovitish orqali martensitli strukturaga erishiladi.

– Tavlash (tempering): 150–200°C haroratda qayta ishlov berish orqali ichki kuchlanishlar kamaytiriladi va egiluvchanlik oshiriladi.

– Past haroratli ishlov (kriogen ishlov): –80°C gacha sovitib, o'tmagan austenitni martensitga aylantirish orqali maksimal qattqlik va barqarorlikka erishiladi.

**3. Metallografik tahlil o'tkazish.** Termik ishlovdan keyingi namunalar metallografik jihatdan tahlil qilinadi, Mikroskop yordamida donalar tuzilishi, karbidlarning joylashuvi, fazaviy holatlar (martensit, perlit, austenit) aniqlanadi, Struktura bir xilligi va donaning o'lchami aniqlanadi.

## 4. Fizik va mexanik xossalarni aniqlash.

**Qattqlikni aniqlash:** Rockwell (HRC) yoki Vickers (HV) usullari.

**Aşinishga chidamlilik:** abraziv disklarda ishqalanish sinovlari orqali.

**Zichlik va porozlik:** ayniqsa kukunli po'latlarda teshikchalar miqdori o'lchanadi.

**5. Olingan natijalarni solishtirish va tahlil qilish.** Quyma va kukunli po'latlarning strukturasi va xossalari tahlil qilinadi, Har bir ishlov turining ijobiy va salbiy tomonlari aniqlanadi, Grafiklar, jadval va mikrosur'atlar orqali natijalar tahlil qilinadi.

**6. Xulosa chiqarish va tavsiyalar ishlab chiqish:** Optimal termik ishlov rejimi bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi, Kukunli metallurgiyaning afzalliklari aniqlanadi, Ishlab chiqaruvchilar uchun texnologik yo'riqnoma sifatida ishlatilishi mumkin bo'lgan takliflar tayyorlanadi.

**2.3. Tadqiqotning amaliy ahamiyati.** Podshipnik, valik, o'lchov asboblari kabi yuqori aniqlikdagi detallarni ishlab chiqarishda eng samarali po'lat turi

va eng mos ishlov berish texnologiyasi tanlanadi, Kukunli metallurgiya texnologiyalarini qo'llash orqali ishlab chiqarish tannarxi kamaytirilib, sifat oshiriladi, Natijalar yirik sanoat korxonalarida (avtomobilsozlik, mashinasozlik, aerokosmik)da bevosita qo'llanilishi mumkin.

**3. IIX15 po'latining umumiy tavsifi.** IIX15 po'lati – bu yuqori uglerodli va yuqori xromli asbob po'latlari turkumiga kiradi. Bu po'lat GOST 801–78 standarti bo'yicha tavsiflanadi va asosan rulman (podshipnik) ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Uning asosiy xususiyatlari – yuqori qattqlik, aşinishga chidamlilik, termik ishlovga yaxshi moslashuvchanlik va uzoq muddatli ishlash barqarorligi hisoblanadi.

### 3.1. Kimyoviy tarkibi.

Element	Miqdori (%)	Vazifasi
C (uglerod)	0.95 – 1.05	Martensit hosil bo'lishini ta'minlaydi, qattqlikni oshiradi
Cr (xrom)	1.30 – 1.65	Aşinishga chidamlilikni oshiradi, karbidlar hosil qiladi
Mn (marganes)	0.25 – 0.45	Dezoksidlovchi rol o'ynaydi, qattqlikni oshiradi
Si (kremniy)	0.15 – 0.35	Mustahkamlikni oshiradi, kuchlanishni kamaytiradi
Ni (nikel)	≤ 0.30	Plastiklikni biroz oshiradi (ixtiyoriy element)
P (fosfor)	≤ 0.025	Noxush aralashma; mo'rtlikni oshiradi, ishlov beruvchanlikni yomonlashtiradi
S (oltinugurt)	≤ 0.020	Qovushqoqlikni pasaytiradi, payvandlash xususiyatlarini yomonlashtiradi

**Izoh:** Jadvaldagi Si elementining yuqori chegarasi sizda 0% sifatida ko'rsatilgan, bu texnik xato bo'lishi mumkin. GOST 801–78 bo'yicha Si = 0.15–0.35% oraliqda bo'ladi - bu yerda to'g'rilab berildi.

**3.2. Asosiy fizik–mexanik xossalari.** IIX15 po'latining xossalari uning tarkibidagi uglerod va xrom elementlari asosida shakllanadi. Termik ishlovlar orqali bu po'latdan turli soha talablariga moslashtirilgan yuqori sifatli mahsulotlar olish mumkin.

**Asosiy xossalari:** Yuqori qattqlik – to'g'ri termik ishlovdan so'ng bu po'lat 60–65 HRC darajasida qattqlikka erisha oladi. Bu uni ishqalanishga va aşinishga nisbatan chidamli qiladi.

**Qattqlikni uzoq vaqt saqlab qolish** – Hosil bo'ladigan martensitik tuzilma tufayli po'lat uzoq

vaqt davomida yuqori qattqlikni saqlab qoladi, hatto yuklama ostida ham deformatsiyalanmaydi.

**Termik ishlovga sezgirlik** – bu po'lat o'z strukturaviy fazalarini issiqlik ta'sirida faol o'zgartira oladi (austenit → martensit), bu esa har xil ishlov turlariga moslashishni ta'minlaydi.

**Nozik donali struktura hosil qilish imkoniyati** – ayniqsa kukunli metallurgiya asosida ishlab chiqarilgan IIX15 po'latida bu xossa kuchli ifodalanadi.

### 3.3. Termik ishlovdan oldingi mikrotuzilma.

**Quyma IIX15:** perlit + karbid fazalarining yirik donalari, aralash struktura.

**Kukunli IIX15:** bir jinsli, mayda perlitik yoki sorbitik strukturaga ega, karbidlar teng taqsimlangan.

**3.4. Ishlab chiqarishdagi afzalliklari.** Yuqori sifatli podshipniklar, o'lchov asboblari, detallar uchun asosiy material hisoblanadi, Yuqori aniqlik, yumshoq harakat, yuqori aylanish tezligiga bardosh beradi, Termik ishlov natijasida martensitli struktura hosil bo'lishi sababli mukammal qattqlik va chidamlilik kasb etadi.

### 3.5. Taqqoslash: Quyma va kukunli IIX15 po'lat

Ko'rsatkich	Quyma SHX15	Kukunli SHX15
Tuzilma bir jinsliliği	Nisbatan past	Yuqori,
Donalarning o'lchami	Yirik	Nozi
Qattqlik	60–	63–65 HRC
Aşinishga chidamlilik	O'rtacha	Yuqori
Termik ishlovga ta'sir	Sezilarli	Barqaror, optimallashtirilgan

## 4. Termik ishlov turlari va ularning ta'siri (kengaytirilgan)

Termik ishlov po'latning ichki mikrotuzilmasini o'zgartirish orqali uning mexanik va ekspluatatsion xossalari sezilarli darajada yaxshilash imkonini beradi. IIX15 po'lati uchun termik ishlov berish texnologiyasi ayniqsa muhim bo'lib, bu materialdan foydalaniladigan detallar (masalan, podshipniklar) yuqori tezlik, ishqalanish va yuklama ostida ishlaydi. Quyida IIX15 po'latiga qo'llaniladigan asosiy termik ishlov turlari, ularning fizik–texnologik ma'lumotlari, strukturaviy o'zgarishlari va funksional ta'siri ko'rib chiqiladi.

### 4.1. Texnologik rejim:

**Qizdirish harorati:** 820–850 °C

**Ushlab turish:** 15–30 daqiqa (namuna o'lchamiga qarab)

**Sovitish muhiti:** yog' (tez sovitish) yoki havo (sekinroq sovitish)

**Jarayonning fizik mohiyati:** Qizdirish natijasida po'latda austenit fazasi hosil bo'ladi. Sovitish tezligining yetarli darajada yuqoriligi martensit fazasini shakllantirish uchun shart-sharoit yaratadi. Aynan martensit struktura – yuqori qattqlik manbaidir.

**Mikrotuzilma:** Asosiy tarkib: martensit (ignasimon tuzilma), Qisman erigan karbidlar qattqlikka ijobiy ta'sir ko'rsatadi, Struktura – kuchlanishga to'la, mo'rt.

**Ta'siri:** Qattqlik: 62–65 HRC, Yuqori aşinishga chidamlilik, Mo'rtlik ortadi (egiluvchanlik kamayadi), Ichki kuchlanmalar yuqori bo'ladi – keyingi ishlov talab etiladi (tavlash)

#### 4.2. Tavlash (tempering)

**Texnologik rejim:**

**Tavlash harorati:** 150–200 °C,

**Vaqt:** 1–2 soat,

**Sovitish:** havo

**Jarayonning fizik mohiyati:** Tavlash- qotirilgan po'latdagi ichki kuchlanmalarni yo'qotish, qattqlikni biroz kamaytirib, plastiklik va zarbaga chidamlilikni oshirishga qaratilgan ishlov. Martensit tuzilmasi temperlangan martensitga aylantiriladi.

**Mikrotuzilma:** Temperlangan martensit (past haroratli tavlashda), Sekin ajralib chiqayotgan karbidlar.

**Ta'siri:** Qattqlik: biroz kamayadi (masalan, 62 HRC → 60 HRC), Plastiklik va zarbaga chidamlilik oshadi, Strukturaviy barqarorlik ortadi, Mo'rtlik kamayadi.

**Eslatma:** Tavlash bosqichi – har doim qotirishdan keyin bajarilishi majburiy bosqich bo'lib, bu qotirilgan martensitning mo'rtligini kamaytiradi.

#### 4.3. Past haroratli ishlov (kriogenik ishlov)

**Texnologik rejim:**

**Harorat:** –70 °C dan –80 °C gacha (ba'zida suyuq azotda –196

**Davomiylik:** 1–2 soat

**Jarayonning fizik mohiyati:** Qotirishdan so'ng, po'latda to'liq martensitga aylanmagan austenit (qoldiq austenit) saqlanib qoladi. Bu faza

vaqt o'tishi bilan o'zgaradi va bu o'zgarishlar detalda deformatsiyalar keltirib chiqarishi mumkin. Sovitish orqali bu austenit martensitga aylantiriladi, bu esa maksimal qattqlik va barqarorlikni ta'minlaydi.

**Mikrotuzilma:** Martensit + mikrokarbidlar, Qoldiq austenit yo'q yoki juda kam **Ta'siri:** Qattqlik: maksimal darajaga yetadi (hatto 66 HRC gacha), Strukturaviy barqarorlik oshadi, Chiziqli o'lchamlarning o'zgarishi kamayadi, Eksploatatsion ishonchlik ortadi.

**Afzalliklari:** Aşinishga chidamlilikni keskin oshiradi, Haroratli yuklamalar ostida strukturaning o'zgarish ehtimoli kamayadi, Podshipniklar, instrumentlar, shtamplar uchun ideal ishlov turi hisoblanadi.

#### 4.4. Termik ishlovlarning taqqoslanishi

Ko'rsatkich	To'liq qotirish	Tavlash	Kriogenik ishlov
Harorat (°C)	820–850	150–200	–80 gacha
Tuzilma	Martensit + karbidlar	Temperlangan martensit	Martensit, qoldiq austenitsiz
Qattqlik (HRC)	62–65	58–60	64–66
Plastiklik	Past	O'rtacha	O'rtacha
Aşinishga chidamlilik	Yuqori	Yuqori	Juda yuqori
Ichki kuchlanmalar	Yuqori	Kamayadi	Minimal

**Xulosa:** IIX15 po'latining sifatli eksploatatsiyasi uchun termik ishlovlar ketma-ketligi muhim ahamiyati.

#### 5. Mikrotuzilmani metallografik tadqiq qilish.

**5.1. Tadqiqot usullari:** Numunalar abraziv va suyuq pastalar bilan silliqlanadi, Maxsus kimyoviy reaktivlarda (masalan, 4% nitric acid in alcohol – Nital) ishlov beriladi, Mikroskopda 500–1000x kattalashtirishda ko'riladi.

#### 5.2. Mikrotuzilma farqlari

Holat	Mikrotuzilma
Quyma, ishlovsiz	Karbid fazali, yirik perlitik donalar
Quyma, qotirilgan	Martensit + karbidlar, yirik don
Kukun, ishlovsiz	Nozik perlitik, bir xil donalar
Kukun, qotirilgan	Nozik martensit, bir jinsli tuzilma

**5. Mikrotuzilmani metallografik tadqiq qilish.** Metall materiallarning xossalari ularning mikrotuzilmasi bilan chambarchas bog'liq. Ayniqsa,

termik ishlov natijasida po'lat strukturasi yuz beradigan fazaviy o'zgarishlar, donalarning o'lchami va taqsimoti, karbidlarning joylashuvi materialning qattiqligi, aşinishga chidamliligi va termik barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. IIX15 po'latining quyma va kukunli variantlarini turli termik ishlovlardan so'ng metallografik tahlil qilish orqali ularning strukturaviy farqlari aniqlanadi. Bu esa qaysi texnologik usul eng yaxshi natija berishini aniqlash imkonini beradi.

**5.1. Tadqiqot usullari.** Mikrotuzilmani aniqlash uchun metallografik tayyorlash jarayonlari quyidagicha bosqichma-bosqich amalga oshiriladi:

**1. Namuna tayyorlash.**

**Namuna olish:** Har bir holat uchun (quyma/kukun, ishlovli/ishlovsiz) alohida metall parchalar olinadi.

**Kesish:** Kerakli shakl va o'lchamdagi namunalarni kesiladi (odatda silindrsimon yoki tekis plastinka).

**2. Silliqlash va sayqallash.**

**Silliqlash:** Yuzalar avval qo'pol, so'ngra mayin abrazivli qog'ozlar (180 gritdan 1200 gritgacha) bilan tekislanadi.

**Sayqallash:** Suyuqlikdagi abraziv pastalar (masalan, alyuminiy oksidi yoki olmos pastasi) yordamida oynadek silliq yuzaga erishiladi.

**3. Kimyoviy etsa qilish.**

Po'lat tuzilmasini ko'rish uchun maxsus kimyoviy reaktiv bilan etsa qilinadi.

**Nital eritmasi (4% azot kislotasi + 96% etil spirti)** ishlatiladi. Bu reaktiv donalar chegarasi va fazalarni aniq ajratib beradi.

**4. Mikroskopik tahlil.**

**Optik metallografik mikroskopda** 500x dan 1000x gacha kattalikda Donalarning shakli, o'lchami, karbidlar taqsimoti, martensit ignalari, qoldiq austenit mavjudligi o'rganiladi.

**Qo'shimcha usullar:** SEM (Scanning Electron Microscopy) — yuqori aniqlikda ko'rish uchun, EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) — elementlar tarkibini aniqlash.

**5.2. Mikrotuzilma farqlari.** Quyida quyma va kukunli IIX15 po'latining termik ishlovdan oldin va keyingi mikrotuzilmasi qisqacha taqqoslab ko'rsatilgan:

**Mikroskopik kuzatishdan asosiy xulosalar.**

Quyma po'latda yirik donali.

Kukunli po'latda esa struktura bir jinsli va barqaror bo'lib, yuqori qattqlik va aşinishga

Holat	Mikrotuzilma tavsifi
<b>Quyma, ishlovsiz</b>	Karbidlar bilan boyitilgan, yirik <b>perlitik donalar</b> . Struktura n
<b>Quyma, qotirilgan</b>	<b>Yirik martensit ignalari</b> , orasida tarqoq karbidlar. Struktura qattiq, lekin mo'rt. Donalar notekis taqsimlangan.
<b>Kukun, ishlovsiz</b>	<b>Nozik perlit donalari</b> , struktura bir jinsli. Karbidlar teng taqsimlangan. Donalar mayda va silliq chegaralarga ega.
<b>Kukun, qotirilgan</b>	<b>Nozik martensitli tuzilma</b> , karbidlar mayda va bir tekis taqsimlangan. Strukturaviy barqarorlik yuqori. Tuzilma zich va kompakt.

chidamlilikni ta'minlaydi. Qotirilgan holatda kukunli po'latda martensit ignalari ancha mayda va zich joylashgan bo'ladi, bu esa ekspluatatsion xossalarning yaxshilanishiga olib keladi.

Mikroskopiya uchun tavsiya: Kattalashtirish: 500x – martensit strukturasi umumiy ko'rish uchun; 1000x – karbidlarning taqsimoti va mikroskopik aniqlik uchun.

**Sur'atlar:** Har bir holat bo'yicha mikrosur'atlar olish va taqqoslash muhim. 6. Qattqlikni o'lchash va natijalarni taqqoslash. Qattqlik — bu po'latning asosiy ekspluatatsion xossalaridan biri bo'lib, ayniqsa rulman (podshipnik), shtamp, valik va boshqa ishqalanishga uchraydigan detallar uchun muhimdir. Termik ishlovlar po'latning qattqligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, ularni baholashda qattqlikni o'lchash eng asosiy ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi.

**6.1. Qattqlikni o'lchash usullari.** IIX15 po'latining qattqligi odatda quyidagi usullardan biri orqali o'lchanadi:

Usul	Belgilanishi	Tavsifi
<b>Rockwell</b>	HRC	Qattiq materiallar uchun. Asosan po'latlarda qo'llanadi. 150 kg yuklama, C shkalasi.
<b>Vickers</b>	HV	Har qanday tuzilmali materiallar uchun aniq o'lchash. Mikrotuzilmaviy tadqiqotlarda keng qo'llanadi.
<b>Brinell</b>	HB	Yumshoqroq po'latlar yoki sirtlar uchun ishlatiladi (ShX15 uchun kam qo'llanadi).

Tadqiqotda asosan Rockwell (HRC) usuli qo'llanadi, chunki bu ShX15 po'latining qattqlik diapazoniga (50–66 HRC) to'g'ri keladi.

**6.2. Termik ishlovlar va qattqlik.** Har xil termik ishlov turlarining po'lat qattqligiga ta'siri quyidagicha:

**6.3. Grafik tavsif.** chiziqli diagramma Agar bu ma'ruza yoki kurs ishida grafik kiritilsa, quyidagicha tavsiya etiladi:

Ishlov turi	Mikrotuzilma	Qattqlik (HRC)	Izoh
Ishlovsiz (quyma)	Perlit + karbidlar	22–28 HRC	Juda past, ishlov talab qiladi
Qotirilgan (quyma)	Yirik martensit + karbidlar	60–62 HRC	Yuqori qattqlik, ammo donalar yirik
Tavlangan (quyma)	Temperlangan martensit	58–60 HRC	P
Ishlovsiz (kukun)	Nozik perlit, barqaror tuzilma	25–30 HRC	Struktura
Qotirilgan (kukun)	Nozik martensit + karbidlar	63–65 HRC	Maksimal qattqlik
Kriogen ishlov + tavlash (kukun)	Martensit (to'liq), barqaror	64–66 HRC	Eng yuqori qattqlik va barqarorlik

### Termik ishlov turlariga qarab HRC qiymatlari: Qattqlik (HRC)

↑

66 | (Kukun + kriogen + tavlash)

64 | (Kukun qotirilgan)

62 | (Quyma qotirilgan)

60 | (Quyma tavlangan)

30 | (Kukun ishlovsiz)

28 | (Quyma ishlovsiz)

Ishlov turlari (ishlovsiz → qotirish → kriogen ishlov), Bu grafikdan ko'rinib turibdiki, kukunli po'lat barcha ishlov holatlarida quyma po'latga nisbatan yuqori qattqlik ko'rsatadi.

#### 6.4. Xulosalar

1. **Quyma po'latda** termik ishlov qattqlikni oshiradi, yirik donalar

2. **Kukunli po'latda** esa nozik va bir jinsli tuzilma tufayli qattqlik yuqoriroq bo'ladi, ayniqsa kriogenik ishlovdan keyin maksimal natijaga erishiladi.

#### 3. Optimal texnologiya:

**Kukunli ShX15 → Qotirish → Kriogenik ishlov** bu ketma-ketlik eng yuqori qattqlik (64–66 HRC), aşinishga chidamlilik va barqarorlikni ta'minlaydi.

#### 7.1. Asosiy natijalar

Mikrotuzilma: Quyma po'lat ishlovsiz holatda yirik perlitik tuzilma, ishlovdan keyin esa yirik martensit + karbidlar strukturaga ega bo'ldi, Kukunli po'latda esa struktura har doim mayda donali, bir jinsli, karbidlar esa teng taqsimlangan holatda saqlanib qoldi.

Qattqlik: Ishlovsiz holatda quyma po'lat 28 HRC, kukunli po'lat esa 30 HRC atrofida bo'ldi, Qotirishdan so'ng quyma po'lat 60–62 HRC, kukunli po'lat esa 63–65 HRC ga yetdi, Kriogenik ishlov + tavlash orqali maksimal qattqlik 66 HRC

ga erishildi (kukunli variantda).

Termik ishlovga sezgirlik: Kukunli po'lat termik ishlovga ancha sezgir, ya'ni harorat va sovitish tezligiga kuchli javob qaytaradi. Bu esa uni mukammal sozlash imkonini beradi. Quyma po'latda esa termik ishlovdan keyin donalarning yirikligi saqlanib qoladi, bu esa mo'rtlikka sabab bo'ladi.

#### 7.2. Taqqoslovchi xulosa.

Ko'rsatkich	Quyma SHX15	Kukunli SHX15
Tuzilma bir jinsliliği	Past	Yuqori
Qattqlik (maks)	62 HRC	66 HRC
Donalarning o'lchami	Yirik	Mayda, barqaror
Termik ishlovga javob	Nisbatan sust	Faol va aniq
Ekspluatatsion xossalar	O'rtacha	Yuqori

7.3. **Yakuniy xulosa.** Kukunli metallurgiya asosida tayyorlangan IIIX15 po'lati strukturaviy jihatdan yuqori aniqlikdagi, nozik va bir jinsli mikrotuzilmaga ega. Bu esa termik ishlov jarayonida maksimal qattqlik va barqarorlikka erishish imkonini beradi.

**Quyma IIIX15 po'lati** klassik usullarda ishlatiladi, lekin strukturadagi yirik donalar va aralashmalar natijasida u kukunli variantga qaraganda pastroq mexanik ko'rsatkichlarga ega bo'ladi. Tajriba asosida aniqlanishicha, eng yaxshi natijalar quyidagi termik ishlov ketma-ketligi orqali olinadi:

**Qotirish (850 °C, yog'da sovitish)**

**Kriogenik ishlov (-80 °C, 2 soat)**

**Tavlash (160–180 °C, 1–2 soat)**

Bu ishlovlar kombinatsiyasi maksimal qattqlik, aşinishga chidamlilik, hamda strukturaviy barqarorlikni ta'minlaydi.

7.4. **Amaliy tavsiyalar.** Yuqori tezlikda harakatlanuvchi, aşinishga uchraydigan detallar (podshipniklar, shtamplar, rulmanlar) uchun kukunli IIIX15 po'latni tanlash tavsiya etiladi. Termik ishlov jarayonida harorat va vaqt parametrlarini qat'iy nazorat qilish natijalarni ancha yaxshilaydi. Mikrotuzilmani muntazam metallografik nazorat qilish orqali ishlab chiqarishdagi sifatni doimiy ushlab turish mumkin.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. GOST 801-78 — “Po‘latlar. Kimyoviy tarkib va standartlar.”
2. Kuznetsov A.I., “Metallurgiya asoslari,” Metallurgiya nashriyoti, 2010.
3. Ivanov V.P., “Termik ishlov berish texnologiyasi,” Texnika, 2015.
4. Smith W.F., Hashemi J., “Foundations of Materials Science and Engineering,” McGraw-Hill, 2011.
5. Callister W.D., “Materials Science and Engineering: An Introduction,” Wiley, 2014.
6. “Powder Metallurgy of Tool Steels,” ASM Handbook, Volume 7, 2015.
7. Metallografiya va po‘lat termik ishlovlari bo‘yicha ilmiy maqolalar va jurnallar (Materials Science and Engineering A, Journal of Materials Processing Technology).