

Sodobna proizvodnja strojnih nožev za potrebe celuloze, lesnopredelovalne in grafične industrije

Uporaba klasičnih vrst legiranih in visoko legiranih orodnih jekel ter postopkov termične obdelave za proizvodnjo strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije ne daje garancije za izpolnitev vseh zahtevanih pogojev sodobne proizvodnje. Navedeno je vzrok nenehnim raziskavam in osvajanju novih vrst orodnih jekel, postopkov termične obdelave in ugotavljanja »optimalnih kompromisnih« značilnih pogojev obratovanja in lastnosti strojnih nožev.

Z izbiro vrste jekla ni mogoče zadovoljiti vseh zahtev nastopajočih pogojev obratovanja, zlasti obrabne obstojnosti ob istočasni odpornosti rezine proti udarcem in neobčutljivosti na pojav brusilnih razpok. Samo s kombinacijo pravilnega izbora vrste jekla in načina termične obdelave dosežemo, da ima strojni nož vse tiste lastnosti, ki pri normalnih pogojih obratovanja omogočajo maksimalno možno vzdržnost, ekonomičnost in kakovost proizvodnje.

Na osnovi raziskav pogojev obratovanja, vzdržnosti in vzdrževanja so renomirani proizvajalci in koristniki strojnih nožev ugotovili naslednje:

Strojni noži termično obdelani po celotni širini na enako trdoto imajo majhno odpornost proti udarnim obremenitvam ter vibracijam in so pri brušenju zelo občutljivi na pojav brusilnih razpok.

Karakteristično za strojne nože termično obdelane po postopku »conskega kaljenja« je oster prehod od kaljene trde rezne širine noža v nekajeni mehak hrbet. Navedeno je vzrok, da imajo noži majhno odpornost proti vpenjalni in rezni sili. Zato pogostoma ob vpenjalnih utorih nastopajo lomi nožev. Ravno tako so noži pri brušenju zelo občutljivi na pojav brusilnih razpok.

Strojni noži celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije, izdelani iz jeklarsko, kovaško ali valjarsko platiranega materiala, imajo majhno odpornost proti poškodbam. Slaba mesta so na stični površini med reznim in nosilnim materialom. Ker je razmerje po debelini med reznim in nosilnim materialom ca. 1:3, so noži znatno manj občutljivi na nastanek brusilnih razpok.

Cementirani strojni noži celulozne in grafične industrije imajo majhno odpornost proti obrabnim, udarnim in reznim obremenitvam. Zaradi ostrega prehoda med cementirano in necementirano plastjo so pogosti primeri, da se odkruši

cementirana plast. Razmerje po debelini med cementirano in necementirano plastjo zmanjšuje pojav brusilnih razpok.

Najugodnejša vzdržnost, produktivnost, kakovost in ekonomičnost proizvodnje v celulozni, lesnopredelovalni in grafični industriji je bila dosežena s površinsko kaljenimi strojnimi noži. To je vzrok, da je površinsko kaljenje v proizvodnji industrijskih nožev postalo najsodobnejši postopek termične obdelave strojnih nožev^{1, 2}.

Uvod

Članek navaja postopke termične obdelave strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije. Navedene so karakteristične lastnosti strojnih nožev, doseženih z uporabo posameznih postopkov termične obdelave. Večji poudarek je podan za indukcijsko površinsko kaljenje, ki ga v svetu ocenjujejo kot najprimernejšega za termično obdelavo strojnih nožev.

Nastopajoča in vedno prisotna konkurenca tržišča zahteva od predelovalne industrije kakovostne in cenene proizvode. Za dosego navedenih zahtev je v tej industriji bilo nujno in neizogibno izvršiti določene tehnološke izboljšave in uvedbo visoko produktivnih strojev, ki obratujejo z velikimi in spreminjajočimi dinamičnimi obremenitvami ter velikimi obratovalnimi hitrostmi ob nastopu minimalnih stroškov vzdrževanja in zahtev.

Osnovni element stroja za rezanje je strojni nož, ki s svojo kakovostjo v glavnem odloča o gospodarnosti obratovanja in o kakovosti proizvodnje. Uporaba klasičnih vrst jekla, klasičnih postopkov in tehnologije izdelave ter termične obdelave ne daje garancije vseh kakovostnih lastnosti, ki naj bi v proizvodnji ob ustreznih pogojih dopustile veliko proizvodnjo in gospodarnost rezanja. Na ta način je v fazi proizvodnje ravno strojni nož postal osnovni faktor pri uvedbi visoko produktivnih predelovalnih strojev za ocenitev tehničnih vrednosti stroja in sposobnosti proizvajalca za vključitev v obstoječo konkurenco tržišča.

Iz navedenega sledi, da je osnovni pogoj za dosego vseh zahtev predelovalne industrije upora-

ba strojnih nožev, izdelanih iz takšne vrste jekla, ki bodo z ustrezno termično obdelavo omogočili veliko in kakovostno proizvodnjo. To zahteva v proizvodnji strojnih nožev nenehno osvajanje novih vrst jekla in novih postopkov izdelave ter termične obdelave. Iz navedenega razloga se je v določeni meri udomačila v ta namen uporaba visoko legiranih in brzoreznih jekel ter celo karbidnih trdin.

Pri izbiri jekla in tehnoloških postopkov izdelave ter termične obdelave strojnih nožev moramo v prvi vrsti poznati pogoje obratovanja posameznih vrst strojnih nožev. Osnovni faktorji, ki so odločilni za kakovost strojnih nožev, so naslednji:

- velika obrabna obstojnost,
- velika rezna sposobnost,
- velika žilavost,
- velika odpornost proti udarcem,
- velika meroobstojnost,
- velika popuščna obstojnost.

Razen navedenih zahtev moramo izpolniti tudi pogoje enostavnega in cenenege vzdrževanja. Pri tem je potrebno upoštevati opremljenost potrošnika z brusilnimi stroji in sredstvi za brušenje. Znano je, da je velikokrat glavni vzrok slabe kakovosti oz. vzdržnosti ali celo neuporabnosti strojnih nožev neustrezno brušenje ali nepravilna vgraditev noža v stroj.

Najugodnejši izbor vrste jekla in tehnoloških postopkov izdelave, ter termične obdelave dosežemo na osnovi sistematičnega zbiranja podatkov ter praktičnih izkušenj o vzdržnosti določenih vrst strojnih nožev in če te podatke ovrednotimo s statističnimi metodami za določitev »optimalnih kompromisnih« lastnosti strojnih nožev.

Navedene zahtevane lastnosti strojnih nožev so v določeni meri v medsebojni odvisnosti, kar omogoča, da z izboljšanjem ene poslabšamo drugo lastnost. Tako npr., če ugotovimo, da se zaradi majhne žilavosti strojni nož lomi, lahko z ustrezno termično obdelavo (ne vedno!) povečamo žilavost na račun znižanja trdote do takšne vrednosti, da ne ugotovimo zaradi tega nedopustno obrabo strojnega noža. Takšna razmišljanja nam jasno nakazujejo, kako pomembno je sistematično zbiranje podatkov o obnašanju strojnih nožev pri obratovanju in kako je potrebno ugotavljati vzroke nizke vzdržnosti strojnih nožev.

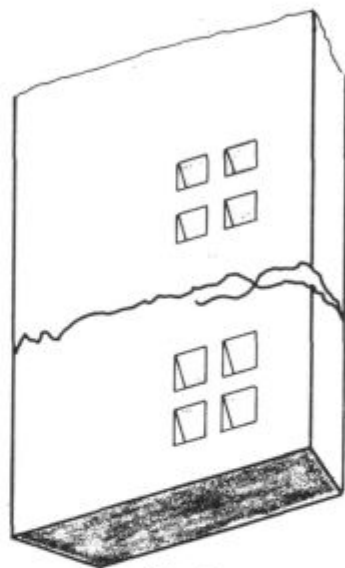
Ravno tako moramo upoštevati stroške nabave, brušenja, menjave in s tem v zvezi stroške zastojev ter kakovost proizvoda. Napačna je ocenitev vrednosti strojnega noža na osnovi nabavne cene kot odločilnega faktorja za ocenitev gospodarnosti uporabe strojnega noža. Tako je npr. podjetje Sandvik — Švedska ugotovilo, da je v grafični industriji z uporabo nožev iz visoko legiranega Cr-C jekla porasla nabavna cena nožev za 30 %, medtem ko so se s tem znižali stroški brušenja za 50 %.

Kljub temu, da v tej ocenitvi gospodarnosti niso upoštevani zmanjšani zastoji in izboljšava

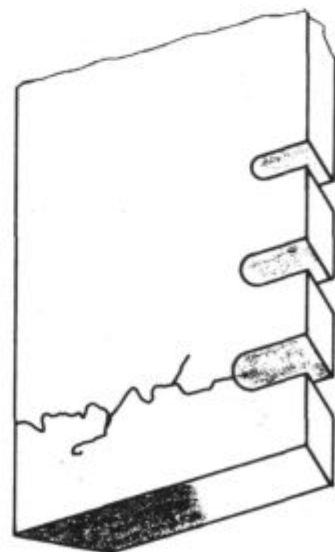
kakovosti proizvoda, nam navedeni primer jasno dokazuje nepravilnost ocenitve gospodarnosti strojnega noža na osnovi nabavne cene. Ravno tako je s tem načinom ocenitve gospodarnosti potrjena pravilnost uporabe grafičnih nožev iz legiranega Cr-C jekla z višjo nabavno ceno¹.

Proizvodnja strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije

V preteklosti in še danes v podjetjih z zastarelimi postopki proizvodnje navedenih strojnih nožev uporabljajo v ta namen legirane vrste orodnih jekel ter nože termično obdelajo na zahtevano trdoto po celotnem prerezu, kot je to razvidno iz slike 1. Slaba stran tako termično obdelanih strojnih nožev je majhna odpornost proti udarcem in vibracijam — nož je zelo krhek^{1, 2}.

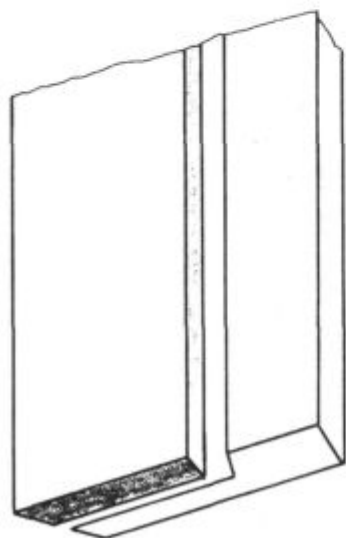


Slika 1
Strojni nož termično obdelan po celotnem prerezu



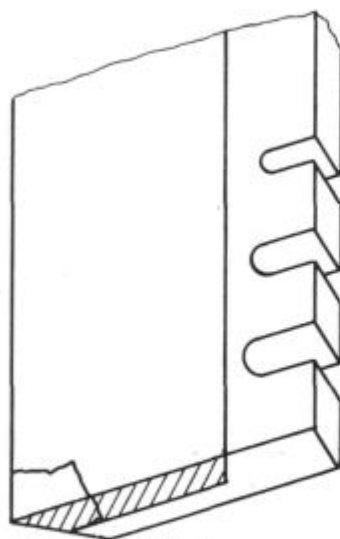
Slika 2
Consko termično obdelan strojni nož

Zaradi navedenih pomanjkljivosti so tehnologijo termične obdelave strojnih nožev izpopolnili z uvedbo »conskega kaljenja«. Po tem postopku termično obdelani strojni noži imajo na zahtevo trdoto kaljeno samo uporabno širino noža, medtem ko je hrbet noža mehak, kot je to razvidno iz slike 2. Za strojne nože termično obdelane po tem postopku je značilen oster prehod iz kaljenega v nekaljeni del noža, kar je vzrok majhni odpornosti noža proti vpenjalni in rezni sili. Zato ob vpenjalnih utorih nastopajo pogosti lomi nožev^{1, 2}.



Slika 3
Kovaško platiran strojni nož

Sodobnejši postopek proizvodnje strojnih nožev je zasnovan na uporabi jeklarško, kovaško ali valjarsko platiranega jekla. Iz takega jekla izdelani strojni noži imajo trdi rezni del koristne širine iz legiranega orodnega jekla, medtem ko je preostali nosilni del mehak in je iz nizko ogljičnega jekla, kot je to razvidno na sliki 3. Slaba mesta strojnih



Slika 4
Cementiran strojni nož

nožev, izdelanih iz platiranega jekla, so vezne površine med stičnimi površinami posameznih vrst jekla. Zato imajo platirani strojni noži majhno odpornost proti poškodbam zlasti pri udarnih obremenitvah^{1, 13, 15}.

V tehnično razvitih deželah proizvajajo določene vrste strojnih nožev za potrebe celulozne in grafične industrije iz jekel za cementacijo in sicer tako, da koristno širino rezne strani strojnega noža cementirajo v globino 3—4 mm, medtem ko je preostali del iz jekla za cementacijo z osnovno kemijsko sestavo, kot je razvidno iz slike 4.

S kaljenjem dobi cementirani koristni del rezine zahtevano trdoto, medtem ko preostali del ostane mehak in žilav. S tem načinom termične obdelave, vključno z difuzijskim žarjenjem, dobimo počasen prehod iz trde cementirane rezne plasti v necementirani mehak in žilav nosilni del noža.

Slaba stran cementiranih strojnih nožev je v pojavu odkrušitve cementirane od necementirane plasti zaradi možnosti nastopa nezadostne debeline prehodne plasti med cementiranim in necementiranim delom strojnega noža.

Za consko kaljene in cementirane strojne nože ter strojne nože iz platiranega jekla je značilno, da pri termični obdelavi zaradi različne strukture po preseku noža kot posledica načina kaljenja oz. kemijskih sestav nosilnega in reznega dela nožev nastopijo napetosti. Te napetosti povzročajo po termični obdelavi deformacijo oblike nožev. Zato jih moramo ravnati z mehanskimi udarci. Pri ravnanju nastajajo na mestih udarcev dodatne napetosti. Kljub popušcanju za odpravo napetosti nastalih pri termični obdelavi in mehanskem ravnanju obstaja možnost, da te v celoti ne odpravimo, tako da so lahko ravno te zaostale napetosti vzrok nastanka razpok v času brušenja ali obratovanja^{1, 2}.

Izgled prelomne ploskve strojnega noža zaradi zaostalih notranjih napetosti od mehanskega ravnanja je razviden na sliki 5.

Razen navedenih dobrih in slabih karakteristik celotno in consko kaljenih ter platiranih in cementiranih strojnih nožev lahko s primerjavo občutljivosti pri brušenju ugotovimo naslednje:

— Celotno in consko termično obdelani strojni noži imajo celotno brušeno stranico prostega kota noža iz orodnega jekla enake trdote, ustrezne zahtevam rezanja, kar pri brušenju povzroča



Slika 5
Prelomna ploskev strojnega noža z vidnimi napakami od mehanskih udarcev



Slika 6
Brusilne razpoke na rezini

razvoj velikih količin toplote in s tem nastanka lokalnega pregretja oz. brusilnih razpok, ki so prikazane na sliki 6.

— Pri platiranih in cementiranih strojnih nožih je samo ca. $\frac{1}{3}$ celotne brušene stranice prostega kota noža iz orodnega jekla oz. samo ca. 3 do 4 mm cementirana in termično obdelana na ustrezno trdoto, medtem ko je preostali del noža mehak. Pri brušenju teh vrst nožev v primerjavi s prej navedenima vrstama se razvije znatno manj toplote in s tem so podani znatno manjši pogoji nastanka brusilnih razpok^{1, 2, 13, 15}.

Študije osnovnih mehanskih, tehnoloških in strukturnih lastnosti so v zadnjih letih dale osnovo za razvoj novih vrst orodnih jekel ter postopkov termične obdelave. Istočasno so te študije nakazale možnost razširitve uporabnosti že znanih vrst jekla na področjih, kjer se še niso uporabljale. Primerjave upogibne in udarne žilavosti, obrabne obstojnosti, mikro trdote, trdote v vročem stanju itd. so z novimi postopki termične obdelave s karakteristikami karbidov in osnovne strukture ter mehanske predelave odkrile nove še neznane možnosti uporabe posameznih vrst jekla in nakazale smernice za nadaljnji razvoj.

Razvoj na področju orodnega jekla je v tehnično razvitih deželah usmerjen k naraščanju uporabe orodnih jekel, ki se kalijo na zraku. Te vrste jekla omogočajo znižanje stroškov v tehnologiji proizvodnje, na drugi strani pa nastopajo pri teh jeklih zaradi opustitve določenih faz proizvodnje sprostitve kapacitet določenih agregatov. Če izvršimo primerjavo orodnih jekel, ki se kalijo na zraku, z orodnimi jekli podobnih skupin, ki se kalijo v tekočih kalilnih sredstvih, ugotovimo prednost jekel, kaljivih na zraku. S takšno primerjavo s sigurnostjo lahko ugotovimo, da imajo v splošnem jekla, kaljiva na zraku, razne prednosti, ki jih lahko okarakteriziramo s skupnim nazivom — »večja vzdržljivost«¹⁴.

Če upoštevamo kriterije in rezultate študij in preiskav zahtev pogojev obratovanja strojnih nožev, lastnosti orodnih jekel, termične obdelave in

mehanske predelave, so v sodobni proizvodnji začeli uporabljati za izdelavo strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije visoko legirana Cr-C in Cr-Mo-C orodna jekla, ki se kalijo na zraku^{1, 2, 3}.

Najsodobnejši postopek termične obdelave strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije je indukcijsko površinsko kaljenje.

Z indukcijskim površinskim kaljenjem strojnih nožev kalimo v zaželeno globino in trdoto samo koristni del noža, medtem ko je preostali del noža nekaljen, to je mehak in žilav, kot je to razvidno na sliki 7¹.

Prednosti površinsko indukcijsko kaljenih strojnih nožev iz visoko legiranih Cr-C in Cr-Mo-C zračno kaljivih orodnih jekel v primerjavi s strojnimi noži, proizvedenimi po že navedenih postopkih, so:

— Z indukcijskim površinskim kaljenjem lahko dosežemo poljubno obliko in dimenzije površine ter globine kaljene plasti. Oblika kaljene plasti zavisi od oblike induktorja, medtem ko kalilna globina zavisi od razdalje med induktorjem in kaljeno površino ter od količine dovedene toplote na kaljeno površino v enoti časa.

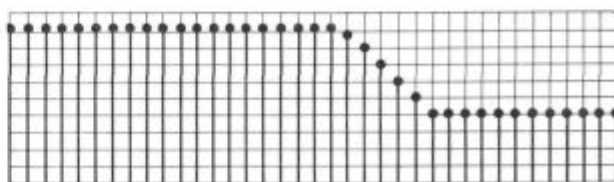
— Z indukcijskim površinskim kaljenjem in naknadnim popuščanjem visoko legiranih Cr-C in Cr-Mo-C zračno kaljivih jekel dobimo v kaljeni rezilni plasti zaželeno trdoto ob maksimalni žilavosti, obrabni obstojnosti, sposobnosti rezanja, odpornosti proti udarcem ter odpornost na popuščanje.

— Ob kaljeni rezilni plasti dosežemo maksimalno možno nekaljeno mehko in žilavo nosilno plast.

— Dosežena je maksimalna možna vezava med kaljeno trdo rezilno ter nekaljeno mehko in žilavo nosilno plastjo z blagim prehodom trdote.

— Zmanjša se občutljivost pri brušenju nožev zaradi zmanjšanja trde brušene stranice prostega kota noža na ca. $\frac{1}{4}$, medtem ko je preostali del te stranice mehak in se lahko brusi.

— Karakteristično za površinsko indukcijsko kaljenje je znatno zmanjšanje običajnih dimenzijskih sprememb, ki se v znatno večji meri pojavljajo pri navedenih klasičnih postopkih kaljenja.



Slika 7
Indukcijsko kaljen strojni nož

Navedeno je zaradi tega, ker po kaljenju jedro obdrži trdoto in trdnost izhodnega jekla kakor tudi, da med kaljeno plastjo in nekaljenim jedrom nastopi ustrezna prehodna plast. Ta plast v času ogrevanja ni dosegla temperature in ustreznega časa za izvršitev avstenitizacije in s tem v zvezi popolne trdote. Mehanske lastnosti nekaljenega jedra in vmesne prehodne plasti ublažujejo nastale kalilne napetosti v takšni meri, da ne nastopa deformacija oblike ali celo kalilne razpoke.

— Osnovna značilnost indukcijskega površinskega kaljenja je sam način ogrevanja, s katerim dovedemo ca. 10 kW/cm² ogrevne površine, medtem ko s sevanjem, prevajanjem ali s konvekcijo lahko dovedemo maksimalno 20 W/cm² ogrevne površine ter s plamenskimi površinskimi kaljenjem do 1 kW/cm² ogrevne površine.

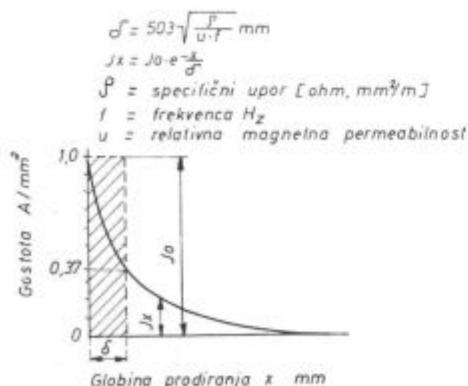
— Primerjava porabe energije pri tem postopku z ostalimi postopki kaljenja daje veliko prednost indukcijskemu kaljenju.

— Pomanjkljivost indukcijskega kaljenja so izredno visoki nabavni stroški celotne naprave^{1, 4, 5, 9}.

Fizikalne osnove indukcijskega kaljenja

Pri indukciji izmeničnega toka nastopi v zunanji plasti kosa, ki ga ogrevamo, toplota, če okoli njega ali ob določenem mestu, ki ga želimo ogrevati, postavimo elektro prevodnik — induktor, skozi katerega teče izmenični tok visoke frekvence. Pri tem lahko smatramo ogrevani kos za sekundarni navoj, katerega primarni navoj je sam induktor. Inducirani tok teče samo v neposredni bližini induktorja.

Količina nastale toplote v glavnem zavisi od jakosti inducirane polja, to je od jakosti električnega toka v induktorju oz. od jakosti izvora energije. Razen tega ima pri indukcijskem gretju znatno vlogo stopnja prenosa energije, kakor tudi lastnosti materiala, iz katerega je izdelan del, ki ga ogrevamo. Pod vplivom inducirane napetosti nastaja električni tok, ki zavisi od elektro upornosti dela oz. od specifične omske upornosti, ki je



Slika 8

Shema prodiranja električnega toka v kovinah

specifična lastnost jekla in zavisi od njegove kemijske sestave, ter se spreminja s temperaturo ogrevanja in s frekvenco toka. Pri indukcijskem ogrevanju jekla do »Curie« — A₂ točke, to je do temperature 769° C toplota nastaja zaradi demagnetizacije jekla in vrtnčastih tokov. Nad to temperaturo, ko jeklo popolnoma izgubi magnetičnost, toplota nastaja oz. se jeklo ogreva samo zaradi vrtnčastih tokov.

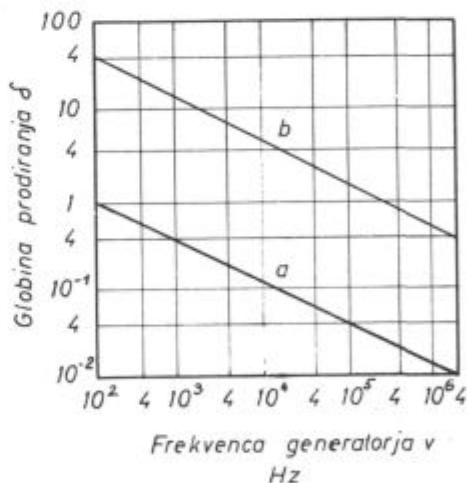
Inducirani tok ni enakomerno razdeljen po celotnem preseku kosa in zaradi skin efekta gostota toka eksponentialno pada v notranjost kosa, kot je to razvidno na sliki 8.

Debelino ogrevne plasti, v kateri inducirani tok pade na e-ti del (e = osnova prirodnega logaritma), imenujemo »globina prodiranja« toka — δ . Ta »globina« je odvisna od specifične omske upornosti — ρ v ohm, mm²/m, od frekvence toka — f v Hz in od relativne permeabilnosti — μ .

Navedena odvisnost je prikazana z naslednjo formulo:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu}} \text{ (mm)}$$

Grafični prikaz odvisnosti globine prodiranja električnega toka od frekvence in temperature je prikazan na sliki 9. Črta »a« prikazuje razmere za jeklo pri sobni temperaturi in črta »b« razmere za jeklo pri temperaturi 900° C.



Slika 9

Globina prodiranja izmeničnega toka v jeklo:

- a — za jeklo pri sobni temperaturi,
- b — za jeklo pri 900° C.

Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da globina kaljenja ni enaka globini prodiranja električnega toka, ker ima pri ogrevanju na temperaturo kaljenja znaten vpliv tudi čas ogrevanja. Običajno dosežemo zaradi toplotne prevodnosti jekla večjo globino kaljenja, kot je globina prodiranja električnega toka^{4, 6, 10, 11, 12}.

Tabela 1

Prerez	Globina kaljenja v mm							
	5	7	10	15	20	30	40	60
	Minimalna potrebna frekvenca v Hz							
Okrogli	48.600	24.800	12.160	5.400	3.040	1.350	760	338
Pravokotni	97.900	49.600	24.320	10.800	6.080	2.700	1.520	676

Izvor energije za induksijsko kaljenje

Izmenični tok omrežne frekvence (50 Hz) uporabljamo samo za induksijsko površinsko kaljenje delov prečnika nad $\varnothing 300$ mm, medtem ko za kaljenje običajnih strojnih delov uporabljamo tok večje frekvence. Razlikujemo srednjo frekvenco, ki znaša 500–10.000 Hz, in jo proizvajamo v rotacijskih generatorjih ter visoko frekvenco, ki znaša 10 KHz do več MHz in jo proizvajamo s cevnimi generatorji. Izbor potrebne frekvence je glede na ustrezno stopnjo izkoriščanja odvisen od preseka kosa, medtem ko je glede na globino kaljenja odvisen od globine prodiranja električnega toka, to je od specifičnega ohmskega upora in relativne permeabilnosti. Pregled potrebne frekvence v odvisnosti od zahtevane globine kaljenja za ploščate in okrogle prerese je razviden iz tabele 1⁵.

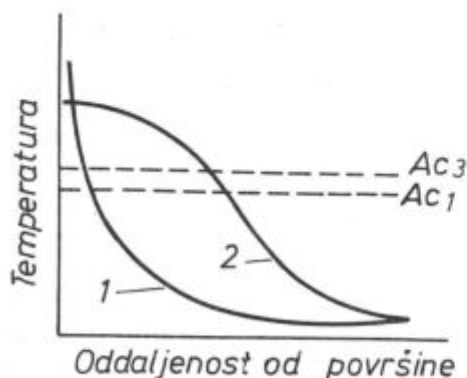
Metalurgija induksijskega kaljenja

Najvažnejše značilnosti induksijskega ogrevanja so pri faznih premenah in so naslednje:

— Zaradi karakterističnega nastanka toplote fazne premene v celotni ogrevni plasti potekajo istočasno, ker ima ta po celotnem preseku enako temperaturo. Shema istočasne porazdelitve temperature po različnih postopkih ogrevanja je razvidna na sliki 10.

— Taka porazdelitev temperature daje vrsto prednosti, in sicer:

a) pojav pregretja ogrevne plasti je omejen ali celo nemogoč,



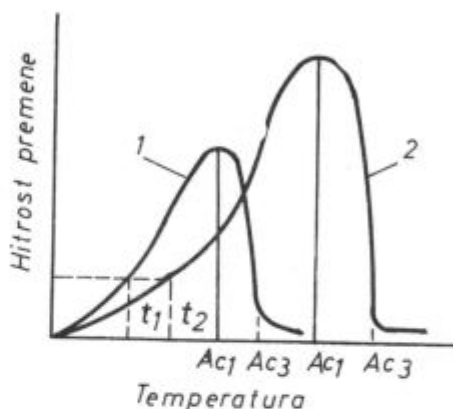
Slika 10

Porazdelitev temperature po prerezu v času kaljenja:

- 1 — plamensko ogrevanje,
2 — induksijsko ogrevanje.

b) v celotni ogrevni plasti zaradi enakih pogojev ogrevanja dobimo enakomerno strukturo in s tem enake mehanske lastnosti.

— Zaradi velikih ogrevalnih hitrosti se fazne premene, pri katerih je kinetika določena z vrsto difuzijskih procesov, premaknejo k višjim temperaturam, kot je to prikazano na sliki 11.



Slika 11

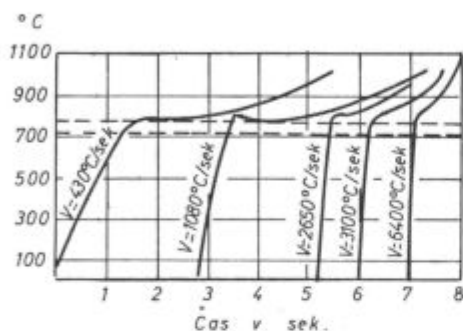
Shema premen pri gretju:
1 — klasični način ogrevanja,
2 — induksijsko ogrevanje.

Iz navedene slike je razvidno, da iz že navedenega vzroka potekajo fazne premene pri ogrevanju s klasičnimi postopki pri nižjih temperaturah kot pri induksijskem ogrevanju. Zaradi tega se induksijsko kaljenje v primerjavi s klasičnimi načini kaljenja vrši pri višjih temperaturah. Potrebno zvišanje temperature nad temperaturo točke Ac_3 je odvisno od hitrosti ogrevanja. Praktični dokaz navedenih trditev potrjuje rentgenografska določitev vsebnosti C v martenzitu kaljenega jekla. Če se npr. s klasičnimi postopki ogrevanja pri kaljenju jekla s ca. 0,75 % C popolna raztopitev C v avstenitu izvrši pri ca. 780°C , se bo ta izvršila pri induksijskem ogrevanju s hitrostjo gretja ca. $120^{\circ}\text{C}/\text{sek}$ pri ca. 920°C .

Pri klasičnih načinih ogrevanja je količina toplote enaka ali ne veliko večja od tiste, ki je potrebna za potek endotermne reakcije premene perlita v avstenit. Pri induksijskem ogrevanju ni principnih težav, ki bi onemogočile dovod takšne količine toplote, ki bi znatno preseгла toploto reakcije premene perlita v avstenit. Prebitek dovedene toplote v odnosu na potrebno toploto premene se porabi za hitro povišanje temperature ogrevane plasti^{7, 10, 12}.

Termični parametri induksijskega kaljenja

Jeklo zaradi ogrevanja nad temperaturo »Curie« točko (A_2) izgubi magnetičnost, zato se hitrost ogrevanja zmanjša, kar povzroča ponovno porazdelitev induksijskega toka in s tem v zvezi spremembo temperaturnih gradientov posameznih con ogrevane površine. Zaradi navedenega vzroka nastopi hitro povečanje prevajanja toplote v notranjost, kar lahko povzroči v površinski coni ogrevane plasti zastoj v povišanju temperature ali celo njen padec. Navedeno je prikazano na sliki 12 s krivuljami ogrevanja jekla s ca. 0,6 % C, določenimi z oscilografom.

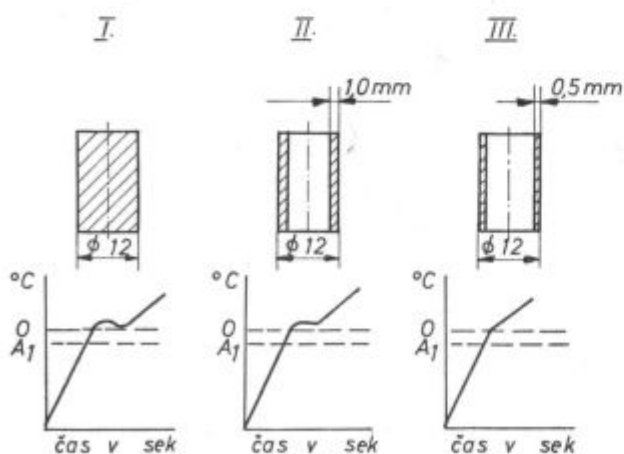


Slika 12
Krivulje ogrevanja jekla z 0,57 % C

Kinetika induksijskega ogrevanja zavisi od oblike in dimenzije kosa, ki ga ogrevamo, kemijske sestave jekla in karakterja izhodne strukture. Različne oblike kinetike induksijskega ogrevanja polnega kosa in cevi različnih debelin sten so prikazane na sliki 13.

Pri statičnem induksijskem ogrevanju temperature kaljenja določamo s fotoelektričnim pirometrom, medtem ko pri progresivnem induksijskem kaljenju merimo temperaturo z optičnim pirometrom.

Za izračun hitrosti induksijskega ogrevanja v določenem temperaturnem intervalu moramo za ustrezní generator in induktor ter vrsto jekla do-

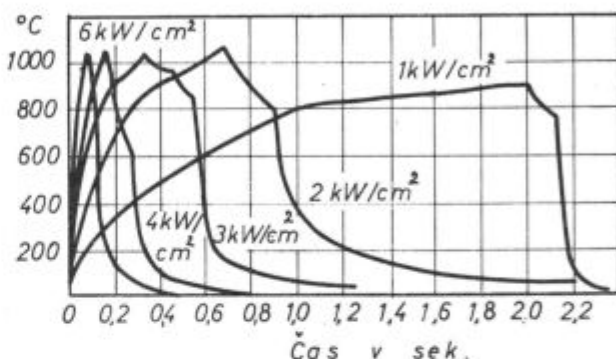


Slika 13
Različne oblike kinetike induksijskega gretja

ločiti krivuljo ogrevanja s pomočjo oscilografa, kot je to prikazano na sliki 12.

Pri izračunu globine prodiranja toka za temperaturno območje od 0—769° C upoštevamo, da je $\rho = 0,25$ ohm, mm²/m in $\mu = 5-6$ in pri temperaturi nad 769° C upoštevamo, da je $\rho = 1,21$ ohm, mm²/m in $\mu = 1$.

Slika 14 prikazuje potek temperature na površini kosa v odvisnosti od časa za periodo ogrevanja, izenačevanja in ohlajanja. Iz krivulje za 1 kW/cm² je razvidno, da se krivulja temperature dviga do 800° C v času 1,0 sek. Zastoj v dvigu temperature je zaradi magnetne permeabilnosti, ko je ta dosegla vrednost 1. S tem je razvidna premaknitev »Curie« točke k višjim temperaturam, kar je še bolj izrazito pri krivuljah za 2 in 3 kW/cm²,

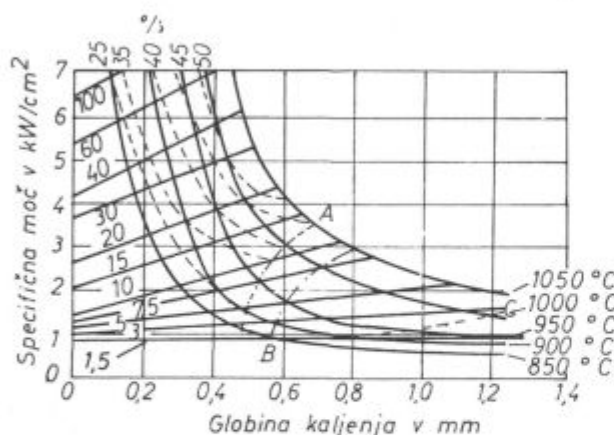


Slika 14
Potek gretja površine v času ogrevanja, izenačevanja in ohlajanja, frekvenca 550 KHz

nasprotno pri krivuljah za 4 in 6 kW/cm² pa ta vpliv še komaj ugotovimo. To povišanje temperature »Curie« točke je pogojeno s specifičnostjo izmeničnega toka. Če je površinska plast dosegla temperaturo »Curie« točke, ima magnetna permeabilnost vrednost 1, medtem ko nižje imajo plasti, ki še niso dosegle navedene temperature, magnetno permeabilnost večjo od 1. V trenutku, ko vse plasti globine prodiranja električnega toka dosežejo temperaturo »Curie« točke, ima celotna ogrevana plast magnetno permeabilnost 1. To stanje nastopa za moč 1 kW/cm² pri ca. 800° C, medtem ko za večje specifične moči ta pojav nastopa pri višjih temperaturah.

V vsakem primeru moramo pri induksijskem kaljenju ogrevati jeklo na temperaturo A_3 . Na osnovi izračunov se določi globina oz. potrebna frekvenca, pri kateri z gotovostjo dosežemo zahtevano temperaturo avstenitizacije. Te vrednosti lahko določimo za različne specifične moči in jih izražamo z diagramom — slika 15 — za temperature 850, 900, 950, 1000 in 1050° C. Istočasno so s tem diagramom zajete hitrosti pomika za progresivno kaljenje. Iz tega diagrama ugotovimo, da za kaljenje globine 0,8 mm od temperature 850° C pri frekvenci 550 KHz moramo imeti pomik 1,3 mm/sek., in specifične moči pod 1 kW/cm².

Kljub obstoječim teoretičnim izračunom se še danes v tehnično razvitih deželah poslužujejo praktičnih poizkusov za določevanje potrebne specifične moči, frekvence, globine kaljenja itd.^{4, 6, 7, 11, 12.}



Slika 15
Diagram za določanje globine kaljenja jekla z
 $A_{c3} = 780 - 820^{\circ}C$, $f = 550$ KHz

Vplivni faktorji pri indukcijskem kaljenju

Vplivni faktor pri indukcijskem kaljenju je termični režim ogrevanja, ki vpliva na strukturo in trdoto jekla. Če ogrevamo jeklo na potrebno temperaturo kaljenja z optimalno hitrostjo, dobimo po kaljenju bolj grobo martenzitno strukturo. Povečanje hitrosti ogrevanja ob normalni temperaturi kaljenja povzroča nastanek finega martenzita.

Na strukturne spremembe pri indukcijskem kaljenju vpliva v znatni meri tudi izhodna struktura, to je struktura jekla pred indukcijskim ogrevanjem. Ker je perioda indukcijskega ogrevanja kratka in s tem v zvezi je čas avstenitizacije ter raztapljanja karbidov tudi kratek, mora imeti jeklo pred indukcijskim ogrevanjem takšno strukturo, ki bo omogočila čim ugodnejši potek transformacije v avstenit.

Določeni vpliv na mehanske lastnosti indukcijsko kaljenih delov ima lahko tudi prehodna plast, ki nastopi med kaljeno trdo plastjo ter nekaljenim mehkim jedrom. Ta prehodna plast je odvisna od začetne temperature kaljenja in časa ogrevanja. Martenzit kaljene trde plasti prehaja v prehodni plasti v sorbit. Kolikor je čas ogrevanja krajši in uporabljena specifična toplota večja, tem ožja je prehodna plast. Iz tega sledi, da je debelina prehodne plasti odvisna od porazdelitve temperature po prerezu. V praksi je ugotovljeno, da ima debelina prehodne plasti zelo majhen vpliv na mehanske lastnosti. Kljub temu obstajajo mišljenja, da pretanka prehodna plast lahko povzroči luščenje kaljene trde plasti od nekaljenega jedra. Praksa je dokazala, da to ne drži in da je ta plast oz. vez v vseh primerih izredno stabilna^{6, 7, 10.}

Postopki indukcijskega kaljenja

Raznolikost oblik strojnih delov, ki jih indukcijsko kalimo, je bila vzrok stabilizacije postopkov indukcijskega kaljenja. Tako imamo tri osnovne postopke indukcijskega kaljenja, in sicer:

- statični postopek indukcijskega kaljenja,
- progresivni — vzdolžni postopek indukcijskega kaljenja,
- progresivni — rotirajoči postopek indukcijskega kaljenja.

Pri statičnem postopku indukcijskega kaljenja miruje induktor in del, ki ga kalimo. Pri tem postopku se istočasno ogreva celotna kaljena plast, medtem ko temperaturo kaljenja reguliramo s časom ogrevanja. Ta postopek uporabljamo za kaljenje nepravilnih oblik kaljene plasti.

Za kaljenje pravilnih oblik in večjih dolžin kaljenih plasti uporabljamo progresivni — **vzdolžni postopek indukcijskega kaljenja**. Pri tem postopku ogrevni coni sledi cona ohlajanja in to na ta način, da se pomika ali induktor s hladilno napravo ali pa del, ki ga kalimo. S tem načinom indukcijskega kaljenja dosegamo velik koeficient izkoriščanja energije. Ta postopek indukcijskega kaljenja je najprimernejši za kaljenje strojnih nožev.

Pri progresivnem — rotirajočem postopku indukcijskega kaljenja del, ki ga kalimo, rotira s 100—500 obr./min. S tem dosegamo izredno enakomernost kaljene cone. Ta postopek uporabljamo za kaljenje zunanjih ali notranjih okroglih površin.

Razen navedenih postopkov indukcijskega kaljenja obstajajo še drugi postopki, ki so se razvili s popolnoma določenim namenom uporabe.

Ob navedenem je treba poudariti prednosti, ki jih ima železarna Ravne kot proizvajalec strojnih nožev. Sama proizvaja vse vrste jekel, ki se uporabljajo za izdelavo teh nožev. Poleg tega je železarna Ravne osvojila tudi vse tehnološke postopke izdelave in termične obdelave, ki so glede na vrsto in način uporabe zelo raznovrstni in zahtevni.

Pomembno je dejstvo, da je v železarni Ravne raziskovalna dejavnost tega področja zelo razvita, prav tako je tehnično razvita in dosledna kontrola. Vse izdelke strojnih nožev kontroliramo z metalografskim pregledom, ugotavljamo trdoto in obstojnost rezine nožev proti obrabi in udarcem ter površinske in notranje napake s ferofluksnimi in ultrazvočnimi metodami. Taka kontrola vsekakor daje garancijo visoke kakovosti, vzdržnosti in gospodarnosti uporabe strojnih nožev.

Literatura:

1. Sandvik — Švedska (katalog).
2. Klingelberg, Remscheid — ZR Nemčija (katalog).
3. Böhler — Avstrija (katalog).
4. Gudcov H. T.: Metallovedenie i termičeskaja obrabotka, Moskva 1957.

5. ASE: Induktionswärmungöfen — komercialno-tehnična propagandna publikacija.
6. Stošić P.: Termična obrada metala.
7. Kioin I. N.: Fizičeske osnovi elektro-termičeskoj obrabotki metallov i splavov, Moskva 1969.
8. Lolič: Visoko-frekventno zagrevanje.
9. Leemann, Baden — Švica: Hinweise für Anwendung der induktiven Erwärmung in der Praxis. Peddinghaus, Sonderdruck aus »Industrie — Anzeiger« 8. nov. 1966.
10. Induction Hardening and Tempering, American Society for Metals, 1964.
11. Technische Rundschau, št. 9, 1969.
12. Höhne E.: Induktionshärten, Springer Verlag Berlin, 1955.
13. Schwartz M.: Modern Metal Joining Techniques.
14. Modern Tool Materials and Metal Fabrication, Metal Progress, May 1960.
15. Golobanenko S. A.: Proizvodstvo bimetallov, 1966.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwendung klassischer Sorten der legierten und hochlegierten Werkzeugstähle und der Wärmebehandlungsverfahren für die Produktion der Maschinenmesser der Zellstoff, der Holzverarbeitenden und der Graphischen Industrie, gibt keine Garantie, dass alle anspruchsvollen Bedingungen einer modernen Produktion auch erfüllt werden können. Das ist auch die Ursache der unaufhörlichen Bemühungen bei der Forschung immer neuer Werkzeugstähle, neuer Wärmebehandlungsverfahren und der Bestimmung der optimalen charakteristischen Betriebsbedingungen und der Eigenschaften der Maschinenmesser.

Nur mit der Auswahl der Stahlsorte kann man nicht allen Betriebsbedingungen genügen. Besonders nicht der Abtriebbeständigkeit bei der gleichzeitigen Schlagbeständigkeit der Schneide und nichtempfindlichkeit gegen das Auftreten der Schleifrisse. Nur mit der Kombination der richtigen Auswahl der Stahlsorte und der Wärmebehandlung kann erreicht werden, dass der Maschinenmesser alle diejenigen Eigenschaften besitzt, welche bei den normalen Betriebsbedingungen eine grösstmögliche Beständigkeit, Wirtschaftlichkeit und Erzeugungsqualität ermöglichen.

Auf Grund der Untersuchungen der Betriebsbedingungen, der Haltbarkeit und der Instandhaltung haben die renommierten Erzeuger und Verbraucher der Maschinenmesser folgendes festgestellt:

Maschinenmesser, wärmebehandelt auf eine gleichmässige Härte über die ganze Breite sind gegen Schlagbeanspruchungen und Vibrationen sehr schlecht beständig, und beim Schleifen auch sehr empfindlich auf das Auftreten der Schleifrisse.

Kennzeichnend für die Maschinenmesser welche nach dem Verfahren der Zonenhärtung wärmebehandelt sind, ist ein scharfer Übergang von der harten gehärteten Schneide in den nichtgehärteten weichen Rücken. Das ist auch die Ursache der schlechten Beständigkeit dieser Messer gegen die Schneidekraft. Aus demselben Grund brechen die Messer häufig an den Einklemmnuten und sind beim Schleifen empfindlich auf das Auftreten der Schleifrisse.

Maschinenmesser für die Zellstoff, Holzbearbeitende und Graphische Industrie aus platiertem Stahl hergestellt, sind gegen Beschädigungen auch wenig beständig. Schlechte Stellen sind an der Berührungsfläche des Schneide und tragfähigem Material. Da das Verhältniss der Dicken zwischen dem Schneide und tragendem Material ca 1:3 ist, sind solche Messer bedeutend weniger empfindlich auf das Auftreten der Schleifrisse.

Die Zementierten Maschinenmesser für die Zellstoff und Graphische Industrie sind gegen Abnutzung, schlagartigen und Schneidebeanspruchungen weniger beständig. Wegen des scharfen Überganges zwischen der zementierten und nichtzementierten Schicht sind Fälle dass die zementierte Schicht abbricht häufig.

Die beste Haltbarkeit, Leistungsfähigkeit, Qualität und Wirtschaftlichkeit wird in der Zellstoff, Holzverarbeitenden und Graphischen Industrie mit den Oberflächen gehärteten Maschinenmessern erreicht. Die Oberflächenhärtung ist in der Produktion der Maschinenmesser das modernste Verfahren der Wärmebehandlung geworden.

SUMMARY

Use of standard alloyed and high-alloyed tool steels, and the heat treatment processes in production of an Hing tools for cellulose, wood-processing, and graphic industries do not guarantee that all demands of modern production will be fulfilled. Never-ending investigations in finding new tool steel types, and heat treatment processes, analysing the »optimal compromise« operating conditions, and the properties of cutting tools are taking place.

All demands of the present operating conditions cannot be satisfied only by choice of the steel type if wear resistance is combined with the blade resistance against impacts and the unsensibility to grinding cracks. Only by combination of right choice of steel and heat treatment all those properties of the cutting tools are achieved which under normal operating conditions enable maximal possible life, and economy and quality of production.

Basing on investigations of operating conditions, endurance, and maintenance the most renowned producers and users of cutting tools came to the following conclusions:

Cutting tools heat-treated along the whole width on the same hardness have small resistance against impact loads and vibrations and are very sensitive to grinding cracks during grinding.

Our cutting tools heat-treated by »zone hardening« are characterized by sharp transition from the quenched hard cutter blade into the unquenched soft back. Therefore the cutters have small resistance against clamping and cutting force. Therefore cutters often break at clamping notches. They are also very sensitive to grinding cracks during grinding.

Cutting tools for cellulose, wood-processing, and graphic industry made of plated materials by forging or rolling have small resistance against damages. Weak points are on the contacts between cutting and supporting material. As the thickness ratio between the cutting and supporting material is about 1:3 the cutters are considerably less sensitive to the grinding cracks.

Carburized cutting tools for cellulose and graphic industry have small resistance against wear, and impact and cutting loads. As the transition between the carburized and not carburized layer is sharp often happens that carburized layer breaks off. Thickness ratio between the carburized and non-carburized layer reduces the appearance of grinding cracks.

The best endurance, productivity, production quality and economy in cellulose, wood-processing, and graphic industry was achieved by case hardened cutting tools. Therefore the case hardening became the most modern process in heat treatment of cutting tools 1,2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Употребление классических сортов легированной и высоколегированной инструментальной стали и способы термической обработки в производстве обрабатываемых ножей для промышленности целлюлозы, обработки дерева и в индустрии полиграфии не удовлетворяет всем требованиям современного производства.

В статье приведены причины постоянных исследований и необходимости развития новых сортов инструментальной стали, способов тепловой обработки и определения оптимальных свойств восприятия в отношении специфики условий в обработке и свойств обрабатываемых ножей. Ограничьтесь только на выбор сорта стали не возможно удовлетворить всем требованиям которые возникают при работе, в особенности устойчивости износа при одновременной стойкости реза при толчках и низкой чувствительности на возникновение трещин при шлифовании. Лишь сочетание правильного выбора сорта стали и способа тепловой обработки дадут ножам те необходимые свойства, которые при нормальном режиме употребления способствуют максимальной устойчивости, экономичность и качество изделия.

На основании исследований условий режима процесса, устойчивости и содержания, производители пользующиеся хорошей репутацией и потребители ножей установили следующее:

ножи термически обработаны по целой ширине на одну и ту же твердость не достаточно устойчивы на удары и вибрации а при шлифовки очень чувствительны на появление трещин. Ножи

термически обработаны частичной закалкой (закалка определенной зоны) имеют острый переход от закаленной твердой полосы с рецом к мягкой тыльной стороне ножа. Ножи приготовленные таким способом термической обработки имеют недостаточную устойчивость ваянию слезы которая возникает во время закрепления ножа в приспособлении. Поэтому на закрепительных пазов часто наступают ломки ножей; в статье объяснены причины этих явлений.

Ножи для обработки целлюлозы, дерева и в полиграфии приготовленные из прокатной или октованной стали не имеют достаточную устойчивость к повреждениям. Слабые т. е. чувствительные места на механические нагрузки находятся в переходной зоне между рецом и тыльной части изделия. Так как отношение толщины между этими частями ножа. 1:3 то нож менее чувствителен на появление трещин во время шлифования.

Цементационные ножи для этих отраслей переработки имеют низкую устойчивость в отношении износа, ударам и нагрузки во время резания. Из-за острого перехода от цементационной части ножа к термически необработанной часто наступают ломки цементационной среды, частота этих явлений зависит от разницы толщины этих слоев ножа.

Самая лучшая устойчивость, высокая продуктивность, хорошее качество изделия и экономичность, обработки получено при помощи поверхностной закалке ножей, поэтому этот способ термической обработки считается наиболее современным.