

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

strojírenská technologie

zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

RACIONALIZACE TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ VÝKOVKŮ

KMM-285

Petr Petřík

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Louda
VŠST Liberec

Konzultant: Ing. Josef Fryš,
Čenkovské strojírnny, n. p.

Rozsah práce a příloh

Počet stran: 54

Počet tabulek: 16

Počet obrázků: 3

Počet příloh: -

Počet výkresů: 4

strojní a textilní
Vysoká škola: V Liberci Fakulta: strojní
Katedra: materiálu a strojírenské Skolní rok: 1987/88
metalurgie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VYKONU)

pro Petr P E T Ř Í K
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Racionalizace tepelného zpracování výkovků

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor sortimentu výkovků z hlediska jejich tepelného zpracování.
2. Proveďte rozbor stávajícího zařízení pro tepelné zpracování výkovků a navrhnete modernizaci této technologie včetně ekonomického zhodnocení.

V 182/885

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

*Všehy - zpráva předat -
- pro vedení*

Rmh / JM

OBSAH

	Strana
1. Úvod	8
2. Technologie tepelného zpracování	9
2.1 Tepelné zpracování	9
2.2 Zařízení kalíren	14
2.2.1 Tepelné pece	15
2.2.2 Příslušenství k el. odpor. pecím	17
2.2.3 Dílenská doprava a manipulace	19
2.2.4 Kontrola jakosti	20
2.2.5 Uspořádání zařízení dílny tep. zpracování ..	21
2.2.6 Větrání a odsávání	22
2.2.7 Protipožární opatření	22
2.3 Kapacitní výpočet kalírny	23
2.3.1 Výpočet pecí	23
2.3.2 Výpočet a navržení strojů a zařízení	25
2.3.3 Kalicí nádrže	26
3. Rozbor sortimentu výkovků z hlediska jejich te- pelného zpracování	29
4. Rozbor stávajícího zařízení pro tepelné zpraco- vání výkovků	33
5. Návrh racionalizace tepelného zpracování výkov- ků	40
5.1 Návrh tepelných pecí	40
5.2 Návrh a výpočet kalicích van	42
5.3 Volba odmašťovacího stroje	44
5.4 Ekonomické zhodnocení	49
6. Diskuse výsledků	52
7. Závěr	53
8. Seznam použité literatury	54

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Ac_1, Ac_3	.....	překrystalizační teploty /°C/
c_K	.....	měrné teplo kalící kapaliny /J/kg°C/
$c_{S,1,2}$	.....	střední měrné teplo vsázky /J/kg°C/
c_O	.....	střední měrné teplo oleje /J/kg°C/
c_V	.....	střední měrné teplo vody /J/kg°C/
F	.....	plocha povrchu chladiče /m ² /
F_{EF}	.....	efektivní časový fond zařízení /hod./
F_K	.....	kalendářní časový fond zařízení /hod./
F_N	.....	nominální časový fond zařízení /hod./
G	.....	hmotnost vsázky /kg/
k	.....	součinitel přestupu tepla z oleje do vody stěnou chladiče /J/m ² °C hod./
M_f	.....	teplota konce martenzitické přeměny /°C/
M_s	.....	teplota počátku martenzitické přeměny /°C/
Q_C	.....	celkové přivedené teplo vsázce /J/
Q_h	.....	množství tepla za hodinu, které je nutno předat z oleje do vody /J/
Q_n	.....	množství tepla, předaného za hodinu kaleným materiálem ve všech nádržích napojených na centrální olejové hospodářství /J/
Q_u	.....	užitečné teplo /J/
Q_z	.....	tepelné ztráty /J/
T_{K1}	.....	počáteční teplota kalící kapaliny /°C/
T_{K2}	.....	konečná teplota kalící kapaliny /°C/
T_{O1}	.....	počáteční teplota oleje /°C/
T_{O2}	.....	konečná teplota oleje /°C/
T_{V1}	.....	počáteční teplota vody /°C/
T_{V2}	.....	konečná teplota vody /°C/
T_1	.....	počáteční teplota vsázky /°C/
T_2	.....	konečná teplota vsázky /°C/
V_C	.....	celkový objem nádrže /m ³ /

V_K objem kalící kapaliny /m³/

V_0 množství oleje /l/hod./

V_V množství vody /l/hod./

V_0 objem vytlačeného oleje /m³/

V_Z přírůstek objemu ohřátého oleje /m³/

η tepelná účinnost pece /l/

ρ měrná hmotnost /kg/m³/

$\tau_{stř}$ střední teplota /°C/

τ_1 střední rozdíl teplot oleje a vody při vstupu do chladiče /°C/

τ_2 střední rozdíl teplot oleje a vody ve výstupu z chladiče /°C/

Děkuji Ing. Petru Loudovi za cenné připomínky.

Petr Petáček

1. ÚVOD

Konstrukce strojů vystavených dlouhodobě vysokému zatížení se neobejde bez součástí odolných extrémnímu namáhání. Toto se řeší buď volbou vhodných konstrukčních materiálů nebo technologickým zpracováním a nebo kombinací obou způsobů. Třetí možnosti odpovídá použití výkovků ze speciálních ocelí, které svými mechanickými vlastnostmi odpovídají požadavkům na ně kladeným.

Národní podnik Čenkovské strojírny je v současné době jedním z dodavatelů kovaných součástí pro VHJ Aero. Je to podnik s dlouholetou kovářskou tradicí. Dlouhou dobu zaujímal významné místo ve výrobě předmětů potřebných pro zemědělství. Radlice k pluhům, motyky, vidle a další zemědělské nářadí bylo jeho nosným programem. Mimo to zásoboval i spotřební průmysl noži a podobnými předměty. Postupem času se zmíněný výrobní program začal přesouvat do jiných výrobních závodů v naší republice a jeho místo zaujaly zakázky pro letecký průmysl.

Dnes se národní podnik Čenkovské strojírny jako člen VHJ Aero stává hlavním dodavatelem tvářených součástí pro podniky letecké výroby. Zároveň s tím se v podniku řeší problémy, jejichž kořeny sahají do dřívějších let a které si vyžádají nemálo úsilí a materiálních prostředků, než budou odstraněny. Jedním z nejzávažnějších je obnova zastaralého zařízení kalírny.

Třebaže jsem si vědom, že moje znalosti nejsou plně odpovídající rozsahu daného úkolu, chtěl bych ve své diplomové práci alespoň částečně přispět k jeho řešení.

2. TECHNOLOGIE TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

Při zpracování technologické části projektu je nutno vycházet ze zásadních znalostí jednotlivých operací tepelného zpracování a musí být zároveň známy důvody, které vedou k zařazení těchto operací do pracovních postupů.

2.1 Tepelné zpracování /1, 4, 5, 8/

Tepelné zpracování kovů a slitin je technická činnost, která spočívá v záměrném a cílevědomém vytváření určitého stavu zpracovávaného kovu či slitiny za účelem dosažení požadovaných vlastností.

V průběhu tepelného zpracování má důležitou funkci čas. Rychlost ochlazování, jež je dána poklesem teploty ochlazované slitiny za jednotku času, je jednou ze základních veličin při tepelném zpracování.

Způsoby tepelného zpracování lze z hlediska pochodu a požadovaného cíle rozdělit do těchto hlavních skupin:

- 1) žíhání
- 2) rozpouštění a vytvrzování
- 3) kalení, popouštění a zušlechťování
- 4) chemicko-tepelné zpracování
- 5) tepelně mechanické zpracování

Způsoby 4) a 5) nepatří mezi způsoby čistého tepelného zpracování, avšak má při nich svůj nezastupitelný význam. V Čenkovských strojárnách se způsoby 2), 4) a 5) neprovádějí, a proto dále nebudou uváděny.

Tepelné zpracování výkovek bezprostředně po vykování

Po dokončení tváření je nutno výkovek ochladit z dokovací teploty na teplotu dílny. Čím větší je výkovek a čím vyšší obsah uhlíku nebo legujících prvků ocel obsahuje, tím větší pečlivost vyžaduje tato operace. Operace tepelného zpracování po dokování

výkovků mohou mít tento účel:

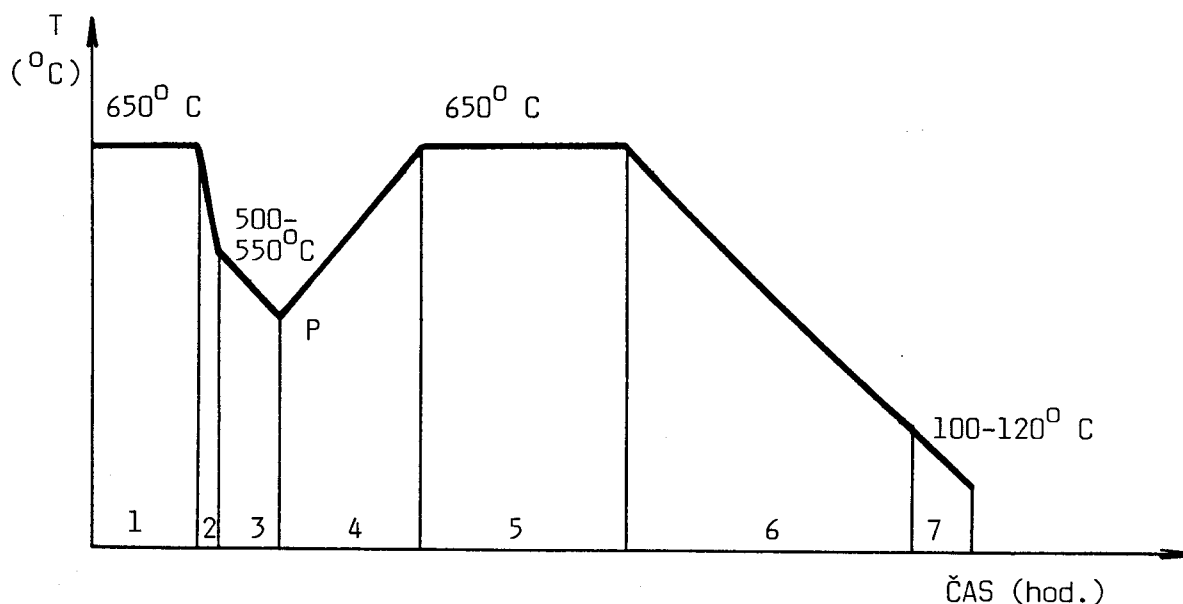
- 1) zaručit dobrou obrobiteľnosť výkovků
- 2) zabránit vzniku veľkých vnútorných pnutí, ktorá by mohla prívodit vznik hrubých trhlin
- 3) zabránit vzniku vločkových trhlin
- 4) tepelne spracovať výkovek tak, aby sa dosáhlo požadovaných mechanických hodnot

Žihací postupy pro různé druhy ocelí

Žihání má za cíl dosáhnout stavu, který se co nejvíce blíží rovnovážnému stavu soustavy za normální teploty.

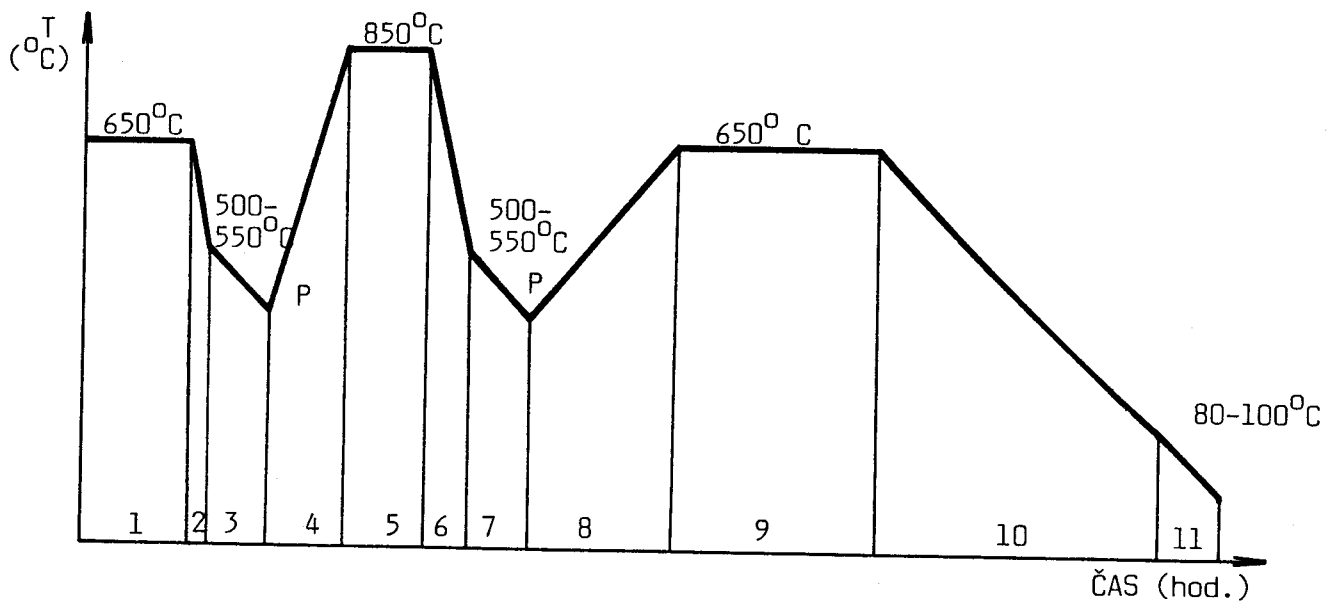
Poměrně jednoduché jsou žihací postupy pro výkovky z běžných konstrukčních ocelí. V závislosti na obsahu vodíku v oceli, jejím chemickém složení a průřezu výkovku je možno volit ochlazování na volném vzduchu, v netopené kryté jámě, v izolačním zásypu nebo v přitápěné peci.

Manipulace s izolačními zásypy (popel, písek, ...) je prašná a nehygienická, a proto jsou pískoviště nahrazována žihacími pecemi.



Obr. 1 Žihací postup větších výkovků bez překrystalizace.
Plnění pece probíhá při teplotách 600-700° C.

1. Krátká výdrž při 650°C pro vyrovnání teploty vsázky.
2. Zrychlené ochlazení do teploty $500-550^{\circ}\text{C}$.
3. Ochlazování v uzavřené peci do teploty $P=(350-450)^{\circ}\text{C}$ pro perlitické oceli, do teploty $P=(250-300)^{\circ}\text{C}$ pro martenzitické oceli. Pokud je to v dané peci možné, provedeme při teplotě P kratší izotermální výdrž, v tom případě můžeme v operaci 3. ochlazovat rychleji.
4. Ohřev na teplotu 650°C rychlostí $50-100^{\circ}\text{C/hod.}$
5. Výdrž na teplotě 650°C .
6. Ochlazování v uzavřené peci do teploty $100-120^{\circ}\text{C}$.
7. Krátké dochlazení vsázky v otevřené peci před vykládáním.



Obr. 2 Žíhací postup náročných těžkých výkovků s překrystalizací. Plnění pece probíhá při teplotách $600-700^{\circ}\text{C}$.

1. Krátká výdrž při 650°C pro vyrovnání teploty vsázky.
2. Zrychlené ochlazení do teploty $500-550^{\circ}\text{C}$.
3. Ochlazování v uzavřené peci do teploty $P=(350-450)^{\circ}\text{C}$ pro perlitické oceli, do teploty $P=(250-300)^{\circ}\text{C}$ pro martenzitické oceli. Pokud je to v dané peci možné, provedeme při teplotě P kratší izotermální výdrž, v tom případě můžeme v operaci 3. ochlazovat rychleji.

4. Ohřev na austenitizační teplotu (nejčastěji $850\text{ }^{\circ}\text{C}$) rychlostí $50 - 100\text{ }^{\circ}\text{C/hod}$.
5. Výdrž na této teplotě do prohřátí vsázky a minimální homogenizace austenitu.
6. Ochlazování na volném vzduchu do teploty $500 - 550\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. Ochlazování v uzavřené peci do teploty $P=(350-450)^{\circ}\text{C}$ pro perlitické oceli, do teploty $P=(250-300)^{\circ}\text{C}$ pro martenzitické oceli.
8. Ohřev na teplotu $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ rychlostí $50 - 100\text{ }^{\circ}\text{C/hod}$.
9. Výdrž na teplotě $650\text{ }^{\circ}\text{C}$.
10. Ochlazování v uzavřené peci rychlostí $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C/hod}$ do teploty $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a rychlostí $\leq 10\text{ }^{\circ}\text{C/hod}$ do teploty $80-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.
11. Krátké ochlazení vsázky v otevřené peci před vychládáním.

Způsoby žíhání a zušlechťování hotových výrobků

Měkké žíhání

Struktura výrobků bývá velmi rozdílná a může se skládat ze zrnitého nebo páskového perlitu a feritu, nebo u vysokolegovaných ocelí z perlitu, bainitu až martenzitu. V soulase s rozdílnou tvrdostí těchto složek je rozdílná i obrobiteľnosť.

Aby se zlepšila obrobiteľnosť, žihá se na měkko. Při tomto žihání se přeměňuje lamelární perlit v perlit globulární a zmenší se vnitřní pnutí součástí. Ocel je měkčí a lépe obrobiteľná. Žihací teploty se volí těsně pod A_{c1} nebo těsně nad A_{c1} nebo kolísají kolem A_{c1} , a to obvykle v rozmezí $660 - 690\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prodleva na teplotě je 2-4 hod. a potom následuje pomalé ochlazování v peci. U legovaných ocelí je prodleva obvykle delší.

Normalizace a popouštění

U výrobků z uhlíkové oceli a mírně legované oceli se kromě hrubozrnné struktury lze setkat často s Widmannstättenovou strukturou. Tyto nestejnorodosti se odstraňují normalizací, t. j. vyhřátím na teplotu nad A_{c3} ($20-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) a volným vychlazením na vzduchu. U důležitějších výrobků se doporučuje dvoje normalizace. Přitom první teplota se volí $80-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad A_{c3} a druhá $20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad A_{c3} .

Dvojí překrytí lze dosáhnout většího zjemnění zrna.

Při prudším ochlazení, a tedy i při normalizaci vznikají ve výkovcích pnutí, jež u složitějších konstrukčních tvarů mohou vést k různým deformacím i během obrábění. Proto se obvykle takové výkovky normalizují ve stavu předhrubovaném a po normalizaci se ohřejí na teplotu kolem 550-600^o C a pomalu chladí, aby se odstranilo pnutí. Popouštěcí teploty jsou shodné s teplotami používanými při žíhání na odstranění pnutí, t. j. 550-600^o C.

Kalení a zušlechťování v kapalných prostředcích

Rychlejším ochlazováním se zjemní feritické zrno. Toho lze využít i u výkovků z uhlíkových nebo mírně legovaných ocelí a chlazením v oleji nebo ve vodě s následným popouštěním lze zlepšit jak strukturu, tak i mechanické vlastnosti.

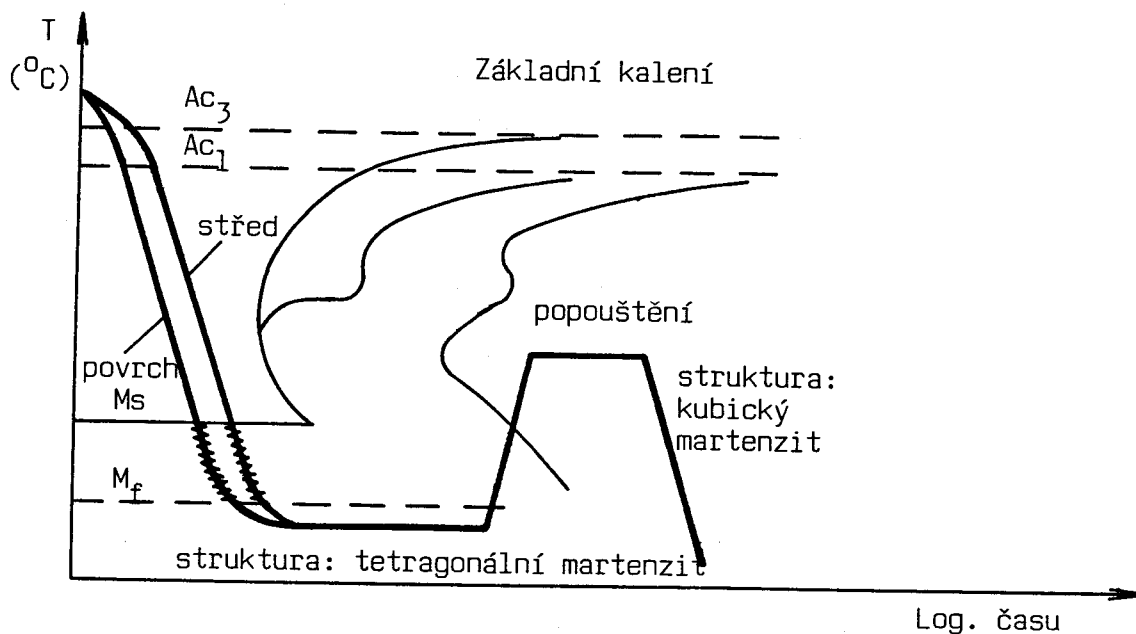
Přitom rychlejší způsob ochlazování nemusí být takový, aby způsobil překročení kritické rychlosti, která je podmínkou zkalení (vznik martenzitu nebo bainitu). Stačí, když způsobí jemnější rozložení nově vznikajících strukturních složek.

Kalení je ohřev materiálu na teplotu nad A_{c3} , resp. na teplotu nad A_{c1} , výdrž na této teplotě a následující ochlazování rychlostí stejnou nebo větší než je kritická rychlost ochlazování.

Cílem kalení a popouštění je vytvořit strukturu o určitém stupni nerovnovážnosti, jejíž vlastnosti odpovídají předepsaným požadavkům.

Zušlechťování má za cíl získat strukturu s optimálními mechanickými vlastnostmi. Toho lze dosáhnout buď popouštěním martenzitu na sorbitickou strukturu za vyšších teplot nebo přímým rozpadem přechlazeného austenitu na bainit.

Na obr. 3 je nakresleno schéma průběhu ochlazování z austenizační teploty pomocí diagramu IRA. Výsledná struktura je tvořena tetragonálním martenzitem. Na obr. 3 je vidět, že rychlosti ochlazování na povrchu a ve středu součástí se výrazně liší.



Obr. 3 Průběh ochlazování z austenizační teploty pomocí diagramu IRA.

Podmínky ohřevu

Rychlost ohřevu je nutno volit se zřetelem na vznikající tepelná napětí ve výkovku, která mohou vyvolat vznik prasklin. Při ohřevu je nutno brát v úvahu:

1. počáteční teplotu pece
2. čas na prohřátí výkovků

Počáteční teplota pece při ohřevu velkých výkovků nemá být vyšší než 300-400^o C. Ohřívací čas je možno rozdělit na dva pochody. První, kdy výkovek je v nízkém stavu plastičnosti a kdy je nutno vést ohřev pomalu a opatrně. Druhý, od teploty, kdy plasticita materiálu již značně vzrostla (asi 600^o C) a materiál je možné ohřívát největší rychlostí, jež zaručuje jeho dostatečné prohřátí.

2.2 Zařízení kalíren /2, 6,12, 9, 10, 11/

Kalírny se liší od ostatních výrobních dílen strojírenských závodů tím, že materiál při tepelném zpracování nemění vnější tvar, ale jsou kvalitativně zlepšovány jeho vlastnosti.

2.2.1 Tepelné pece

Základní ohřívací zařízení pro tepelné zpracování jsou pece, vany (lázně) a speciální ohřívací zařízení. Tepelné pece se mohou rozdělit podle těchto znaků:

1. technologický účel
2. konstrukce
3. zdroj tepla

Podle technologického účelu mohou pece být kalící, žíhací, popouštěcí, cementační atd. Často slouží jedna pec pro různé druhy operací tepelného zpracování. Např. pro ohřev ke kalení, normalizaci a popouštění za vysokých teplot.

Určujícími faktory při výběru konstrukce tepelných pecí jsou způsoby mechanizace nakládání, vykládání a pohybu součástí v peci.

Při kusové výrobě se tepelně zpracovává velké množství součástí, které jsou z různého druhu oceli, mají různé tvary a rozměry. V tomto případě jsou vhodné komorové univerzální periodické pece. Komorové periodické pece mohou být:

- s pevným dnem a vnější mechanizací nakládky
- vozové (s výsuvným dnem)
- zvonové
- půdní
- vertikální (šachtové)
- dvoukomorové
- s pojízdnou komorou atd.

Při hromadné výrobě se tepelně zpracovává velké množství stále stejných součástí. V tomto případě se používá speciálních pecí průběžného provedení. Pohyb součástí je mechanizován.

Podle zdroje tepla se tepelné pece dělí na elektrické a plamenné. Přeměna elektrické energie v tepelnou u elektrických pecí má oproti plamenným pecím tyto výhody:

1. možnost dosažení vysokých teplot
2. možnost koncentrace vysokých teplot v určených úsecích pracovního prostoru pece

3. snadná regulace teploty a teplotního pole
 4. čistota pracovního prostoru
 5. velká tepelná účinnost (70-85 %)
 6. čistota prostředí a optimální hygienické podmínky na pracovišti
 7. možnost použití libovolné plynné atmosféry nebo vakua
- Elektrické pece pracují převážně s nepřímým odporovým ohřevem. Teplo vzniká průchodem elektrického proudu topnými odpory, které se rozžhaví a předají teplo ohřívanému materiálu.

Převážná většina odporových pecí má topné odpory ve formě spirál nebo pásů. Pro teploty nad 1 350⁰ C se většinou používá nekovových odporových materiálů. Mezi tyto materiály patří např. silit, grafit, ...

Stručná charakteristika základních tepelných pecí

Komorové pece

Jsou vhodné pro většinu operací tepelného zpracování. Využívají se k ohřevu při žíhání, kalení a k cementování v prášku.

Pro popouštění je nutno vybavit pece nuceným oběhem vzduchu.

Vozíkové pece

U komorových pecí je pevná nístěj, kdežto u vozíkových je nístěj zhotovena jako vyjížděcí vůz. Vůz pojíždí po kolejích a jeho pojezd je ruční nebo motorický.

Tyto pece se uplatňují při ohřevu k žíhání, kalení a k cementování v prášku.

Šachtové pece (hlubinné)

Pracovní prostor mají v podobě kruhové šachty, která je nahoře uzavřena víkem.

Pece, které jsou určeny pro ohřev při popouštění, jsou doplněny ventilátorem, zabudovaným do dna nebo do víka pece (k zajištění nuceného oběhu vzduchu).

Materiál se vsazuje do pece buď v koších přímo na rošt nebo v přípravcích.

Se zřetelem na bezpečnost se stavějí tak, aby jejich okraj přečníval asi 800-1000 mm nad podlahu. Spodní část pece je zapuštěna do základů, které podle velikosti pece dosahují značných hloubek.

Šachtové pece s nuceným oběhem vzduchu se používají k popouštění, popř. předeřívání, a pro tepelné zpracování slitin.

Průběžné pece

Tyto pece mají rozsáhlé použití s velkou produktivitou práce. Mezi průběžné pece se řadí otočná pec (karuselová pec). Tato pec má nístěj tvaru mezikruží (prstence), která je otočná kolem svislé osy. Pec má dva dveřní otvory: sázecí a vyjímací. Vsázka se uloží sázecím otvorem na prstencovitou nístěj. Otáčením nístěje projde vsázka celým prostorem pece a vyjímacím otvorem se po ukončení tepelného cyklu z pece vyjme. Rychlost otáčení v místě je regulovatelná. Tyto pece se používají pro normalizační žíhání, ohřev ke kalení atd.

2.2.2 Příslušenství k elektrickým odporovým pecím

Ovládací skříně

Jsou příslušenstvím elektrických odporových pecí, konstruovány pro jmenovité napětí max. 500 V a jmenovitý proud max. 2500 A při kmitočtu 50 Hz.

Třídění ovládacích skříní

a) podle účelu:

- standartní - silová, měřicí a regulační část je umístěna společně
- spínací - obsahující pouze silovou část
- měřicí - obsahující pouze měření a regulaci

b) podle konstrukčního provedení:

- pro přistavení ke zdi
- volně stojící jednostranné
- volně stojící dvoustranné
- k připevnění na stěnu

Osazení ovládacích skříní přístroji je značně rozlišené podle druhu pece, jejího příkonu a podle potřebného nebo požadovaného rozsahu měřících přístrojů.

Ovládací skříně jsou určeny pro prostředí obyčejné podle ČSN 340070. Pro jiná prostředí je nutná dohoda s výrobcem.

Ovládací skříně pro standartní typy pecí se objednávají jako příslušenství těchto pecí a nemusí být zvlášť specifikovány. Je-li požadováno nestandardní provedení ovládací skříně, musí objednávka obsahovat:

1. provedení skříně podle účelu
2. provedení skříně podle konstrukce
3. požadovanou povrchovou úpravu
4. způsob připojení (přívod a vývod spodem nebo vrchem)
5. pracovní prostředí, ve kterém bude umístěna
6. jmenovité napětí a kmitočty proudové soustavy
7. zvláštní příslušenství (vnější osvětlení, vnitřní osvětlení)

Kalící nádrže

Kalící nádrže jsou používány pro ochlazování ocelových součástí a dílů.

Nádrže jsou naplněny olejem nebo vodou. Médium je možno ochlazovat mimo nádrž (chladič, který je možno přiřadit podle možností). V nádrži je uložen vyjímací rošt, umožňující snadnější čištění nádrže od okují a nečistot. U některých typů jsou zabudovány vířiče, chladiče nebo topná tělesa a u všech typů odporové teploměry.

Odmašťovací stroje

Odmašťovací stroje se používají pro odmašťování a oplach zne-

čištěných předmětů olejem.

Jsou určeny především pro vybavení linek tepelného zpracování, jejichž provozu jsou konstrukčně přizpůsobeny.

Umělé atmosféry

Umělou atmosférou se nazývá směs plynů, která ve spotřebiči (v našem případě elektrické peci) obklopuje tepelně zpracovávaný předmět místo okolního vzduchu za účelem zabránění nežádoucích reakcí (např. oxidace povrchu, oduhličení materiálu), eventuálně za účelem docílení žádoucích reakcí (redukci kysličníků, nauhličení součástí, nasycení součástí dusíkem) předmětů s atmosférou.

Umělými atmosférami se dociluje nejen racionalizace výroby, ale často značné zvýšení kvality a možnost přejítí na zcela nové výrobní metody.

Pro výrobu umělých atmosfér se používá jako výchozích látek většinou uhlovodíkových plynů (propan, butan, metan).

Závěrem možno říci, že hlavní použití umělých atmosfér v tepelném zpracování kovů a jejich použití je většinou hospodárnější než způsob bez umělých atmosfér. Ekonomickou otázkou zůstává volba optimální atmosféry pro daný proces.

2.2.3 Dílenská doprava a manipulace

Dílenská doprava a manipulace tvoří velmi důležitý článek technologického výrobního procesu. Slouží k spojování jednotlivých technologických operací v ucelený proces. Na jejím správném a hospodárném řešení závisí do značné míry efektivnost celé výroby a odstranění fyzické námahy pracovníků.

Dopravní a mechanizační zařízení má být pokud možno jednoduché, neboť čím je složitější, tím je náročnější na údržbu. Systém dopravy a mechanizačního zařízení závisí na mnoha podmínkách. Na první pohled je zřejmé, že řešení dopravy a manipulace v kalírně sériové výroby strojírenských součástí bude odlišné od řešení v kalírně nástrojů nebo v kalírně kusové výroby.

Další prvky, které rozhodují o řešení dopravy, jsou typy použitých pecí a zařízení a kusová váha tepelně zpracovávané součásti.

Dopravu v dílně je možno rozdělit na tři hlavní skupiny podle použitého zařízení, a to na dopravu jeřáby, pozemní dopravu a dopravu dopravníky. Manipulační zařízení je potom zařízení, které doplňuje dopravní zařízení, popř. je spojuje s vlastním dopravním zařízením.

2.2.4 Kontrola jakosti

K zajištění správné kvality tepelného zpracování je na konci technologického procesu v kalírně nezbytná kontrola. Podle druhu výroby, jejího rozsahu a důležitosti je vybudován systém kontroly. Nelze proto jednoznačně stanovit rozsah a vybavení kontroly.

Zkoušky mechanických hodnot

Tyto zkoušky se dělí na zkoušky tvrdosti a zkoušky pevnosti. Měření tvrdosti je nejběžnější zkoušení v každé kalírně bez zřetele na její velikost. Vyžaduje pouze minimální potřebu přípravy před měřením. Součást je nutno pouze v místě měření obrousit. Nejpoužívanější metody měření tvrdosti jsou podle Brinella, Rockwella a Vickerse. Princip všech těchto metod záleží ve vtlačování tvrdého vnikajícího tělesa určitého tvaru do povrchu zkoušeného předmětu a ve stanovení tvrdosti podle vtisku zanechaného v povrchu.

Zkoušky pevnosti vyžadují větší přípravu, a proto se zpravidla nedělají přímo v dílně tepelného zpracování. Tam se pouze z tepelně zpracované součásti odeberou z předem určených míst vzorky. Vzorky se obrábějí na předepsané tvary zkušebních tyčí na obráběcích strojích, které jsou obvykle součástí ústřední laboratoře. Zkoušky mechanických hodnot se konají v laboratoři a výsledky jsou v dílně tepelného zpracování pouze oznamovány.

Kontrola povrchů

U kalených součástí se velmi často vyskytují povrchové trhlinky, které nejsou někdy pouhým okem patrné, a přesto mohou způsobit pozdější poruchu zařízení nebo stroje, pro který je součást určena. Proto je nutno věnovat odhalení trhlinek zvětšenou pozornost.

Pro sériovou výrobu je výhodné použít elektromagnetického defektoskopu.

2.2.5 Uspořádání zařízení dílny tepelného zpracování

Při návrhu uspořádání zařízení kalírny se vychází z technologického postupu. Pece, stroje a zařízení je nutno řadit tak, aby se tepelně zpracovávaný materiál ve svém postupu zbytečně nevracel.

Na organizované uspořádání je nutno dbát při rekonstrukcích a doplňování kalíren. Často se instaluje nová pec na kterémkoli volném místě, bez zřetele na to, zda je zachován správný postup dílnou. Každou rekonstrukci je nutno velmi pečlivě uvážit a věnovat jí nejméně stejnou pozornost jako stavbě nové.

Mezi jednotlivými pecemi se ponechává dostatečná mezera. U komorových pecí, solných lázní a malých šachtových pecí nejméně 1000 mm. U průběžných pecí se dělá průchod minimálně 2000 mm.

Vzdálenost pecí od stěn se rovněž dodržuje nejméně 1000 mm. U šachtových pecí, které mají víka odsunovací v horizontální poloze, je nutno pamatovat i na toto odsunutí.

Kalicí nádrže se umisťují do prostoru před pece, ve kterých se bude dělat kalicí ohřev. Mezi pecemi a nádržemi se ponechává manipulační průchod 1000 až 1600 mm. Nádrže se zapouštějí pod úroveň podlahy tak, aby jejich horní okraj byl 800 až 900 mm nad podlahou. Zapustí-li se více, je nutno k zajištění bezpečnosti práce kolem nich postavit zábradlí.

Kalící nádrže se situují tak, aby byly s pecemi ve společné ose. Dosáhne se toho, že při manipulaci jeřábem stačí pouze jeden pohyb. Pro mezioperační dopravu se vytváří dostatečná pasáž. Její šíře se určuje podle navrhovaného dopravního zařízení. Minimální šířka pasáže při použití akumulátorového vozíku je 2000 mm. K zajištění trvalého pořádku vyznačuje se pasáž na podlaze buď bílou barvou nebo bílými kostkami.

2.2.6 Větrání a odsávání

Aby bylo pracovní prostředí v dílnách tepelného zpracování nezávadné, musí být zajištěno dobré větrání celého prostoru kalírny a na místní odsávání všech vznikajících spalin a výparů. Vzduch se může vyměňovat přirozeným nebo nuceným větráním.

Při přirozeném větrání se využívá oběhu vzduchu, způsobeného rozdílem teplot vzduchu uvnitř a vně dílny a účinkem větru. K nucenému větrání se používá ventilátorů. Kromě výměny vzduchu se zajišťuje ještě jeho ohřívání, popř. čistění.

Z hlediska hygieny a hospodárnosti je však nutné, aby se škodlivé výpary odváděly přímo od místa vzniku. Dosahuje se toho individuálním odsáváním jednotlivých zdrojů škodlivin. Odsávání může být rovněž přirozené nebo nucené. V praxi se však většinou používá odsávání nuceného.

2.2.7 Protipožární opatření

V kalírnách, ve kterých se pracuje se značným množstvím kalícího oleje, je nebezpečí vzniku požáru. Olej se vznítí při přehřátí povrchových vrstev oleje. Toto přehřátí vzniká při pomalém ponořování kaleného materiálu, nebo když se přeruší spouštění vsázky před úplným ponořením do oleje. Přerušování může být způsobeno závadou na zdvihacím zařízení, nebo přerušenou dodávkou elektrického proudu.

U malých nádrží, které jsou obsluhovány ručně, lze umístit na nádrž odklápěcí víko, které se při vzplanutí oleje přiklopí na nádrž a zamezí se tak přístup vzduchu; tím se oheň uhasí. V blízkosti velikých nádrží se umisťují hasicí přístroje.

2.3 Kapacitní výpočet kalírny /3, 6, 9/

Kapacitním výpočtem se určuje typ, velikost a počet pecí, kalícího zařízení, strojů a dopravního zařízení pro jednotlivé operace a počet potřebných pracovníků.

Výpočet podle globálních hodnot, který je však pouze přibližný, je výpočet na základě znalosti celkové váhy součástí tepelně zpracovávaných v t/rok a podílu připadajícího na jednotlivé operace tepelného zpracování v t/rok.

2.3.1 Výpočet pecí

Pro výpočet je nutno zjistit alespoň maximální váhu a rozměr tepelně zpracovávané součásti každé skupiny tepelného zpracování. Podle druhu tepelné operace, maximální váhy a rozměrů součástí se volí typ pece. Velikost navrženého typu, popř. jejich počet se určí z celkové váhy tepelně zpracovávaného zboží za použití průměrných hodnot. Pro informaci jsou uvedeny v tab.1 průměrné výkony pro jednotlivé operace tepelného zpracování a různé druhy pecí, upravené podle praktických zkušeností z kalíren našich strojírenských závodů.

Stanovení počtu pracovníků

Při stanovení počtu potřebných pracovníků se vychází z počtu pecí, z jejich velikosti a časového využití. Přihlíží se přitom k bezpečnosti a obtížnosti práce u jednotlivých pecí.

Typ pece	Žihání		Kalení a normalizace	Popouštění
	přes 12 h.	do 6 h.		
komorová	40-60	60-80	80-150	100-120
vozová	35-50	50-70	60-150	60-80
šachtová (na 1 m ³ obj.)			200-300	120-450
karuselová			120-200	

Tab. 1 Měrné výkony pecí v kg/m² hod.

Základní rovnice tepelné bilance pece vyjadřuje rovnost celkového přivedeného tepla součtu užitečného tepla a tepelných ztrát:

$$Q_c = Q_u + Q_z \quad /J/ \quad (1)$$

Mezi tepelné ztráty u elektrických pecí patří ztráta stěnami, ztráta sáláním otevřeným pracovním prostorem a ztráta ohřevem pomocného materiálu.

Užitečné teplo je množství tepla, které je třeba dodat vsázce, aby se ohřála na požadovanou teplotu:

$$Q_u = G \cdot c_s (T_2 - T_1) \quad /J/ \quad (2)$$

Poměr množství užitečného tepla k celkovému množství tepla se nazývá tepelnou účinností pece a označuje se:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_c} \quad /1/ \quad (3)$$

Hodnoty η u některých pecí jsou uvedeny v tab. 2.

Typ pece	η /% /
komorová	50
vozová	50
šachtová	50
karuselová	75

Tab. 2 Tepelná účinnost pecí

U elektricky vytápěných pecí je nutno celkové teplo, vypočtené v Joulech, převést na kWh.

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} \quad (4)$$

Po stanovení vsázky a navržení odpovídající pece se vypočítá celkový počet vsázek za rok. Počet vsázek je dán poměrem:

$$\text{Počet vsázek} = \frac{\text{celková váha součástí určité operace tep.zprac. v kg}}{\text{váha jedné vsázky v kg}} \quad (5)$$

Po zjištění potřebného počtu vsázek se vypočte celkový potřebný počet hodin:

$$\text{Celkový počet hodin} = \text{počet vsázek za rok} \cdot \text{délka cyklu tep.op./h/rok/} \quad (6)$$

Celkový potřebný počet hodin pro danou operaci tepelného zpracování a navrhovanou pec je směrodatný pro stanovení počtu pecí. Nutný počet pecí se získá:

$$\text{Počet pecí} = \frac{\text{celkový počet hodin}}{\text{efektivní časový fond pece}} \quad (7)$$

Výpočet časového fondu zařízení

Kalendářní časový fond:

$$F_K = \text{počet kalendářních dnů v roce} \cdot 24 \quad (8)$$

Nominální časový fond:

$$F_N = \text{počet prac.dnů v roce} \cdot \text{délka 1 směny} \cdot \text{koef. směnnosti} \quad (9)$$

Efektivní časový fond:

$$F_{EF} = F_N - \frac{F}{100} \quad (5 \div 10) \quad (10)$$

Konstanta 5÷10 % představuje nevyhnutelné časové ztráty, t.j. vyvolané generálními opravami strojů a zařízení a ztráty spojené s organizačními a technickými příčinami /např. příprava a zakončení směny, pracovní přestávky/.

2.3.2 Výpočet a navržení strojů a zařízení

Strojů v kalírnách se používá v provozech poměrně málo. Zařazují se mezi ně kalící stroje a lisy, rovnací lisy, odmašťovací

a tryskací stroje. Při kapacitním výpočtu těchto zařízení se rovněž vychází z technologického postupu, který určuje velikost vsázky a délku pracovního cyklu. Z těchto dvou hodnot je možno vypočítat potřebný počet strojů.

Propočtem stanovit příslušné velikosti a kapacity je též nutno u kalící vodní a olejové lázně. Je třeba stanovit nejen velikosti kalících lázní, ale i způsob chlazení média.

2.3.3 Kalící nádrže

Neoddělitelnou součástí každé kalírny jsou kalící lázně. Pro kalící lázně se používá různých nádrží, jejichž provedení je závislé na velikosti, tvaru a materiálu součástí a na požadovaných výsledných hodnotách.

Výpočet a návržení kalící nádrže

Při výpočtu potřebného objemu nádrže se vychází z toho, že teplo obsažené v ohřáté vsázce musí být předáno do kalící kapaliny. Výchozími podklady pro výpočet jsou údaje o maximální jednorázové vsázce, která bude v nádrži kalena. Výpočet velikosti kalící nádrže vychází z rovnice:

$$G \cdot (c_1 T_1 - c_2 T_2) = V_K \cdot c_K \cdot (T_{K2} - T_{K1}) \quad (11)$$

Pro kalení ve vodě je nutno počítat s počáteční teplotou v rozmezí 15-20° C. Konečná teplota nemá být větší než 40° C, neboť ochlazovací účinek vody při vyšší teplotě značně klesá. Při kalení do oleje se počítá s počáteční teplotou oleje 30-40° C a konečnou teplotou 60-80° C.

Objem oleje vytlačeného zakalovanou vsázkou se určí z celkové hmotnosti vsázky a měrné hmotnosti oceli:

$$V_{V0} = \frac{G}{\rho} \quad /m^3/ \quad (12)$$

Ohřeje-li se olej z teploty 40° C na teplotu 80° C, zvětší se jeho objem. Toto zvětšení je nutno rovněž vzít v úvahu:

$$V_Z = V_K \cdot \frac{\rho_{40} - \rho_{80}}{\rho_{80}} \quad /m^3/ \quad (13)$$

Objem vytlačeného oleje a přírůstek objemu ohřátého oleje je nutno připočítat k vypočtenému objemu kalící kapaliny, aby byla stanovena správná velikost nádrže. Minimální celkový objem nádrže se určí ze vztahu:

$$V_C = V_K + V_{V0} + V_Z \quad /m^3/ \quad (14)$$

Po výpočtu a stanovení velikosti nádrže k odebrání tepla ze vsázky je třeba vypočítat a navrhnout způsob odvedení tepla z kalící kapaliny. Kalící kapalina musí mít před dalším kalením opět počáteční teplotu. Samovolné chladnutí kapaliny vyzařováním tepla hladinou a předáváním tepla stěnami nádrže do okolí je velmi pomalé. U nádrží vsazených do základů je možno počítat se snížením teploty ze 60-70° C na 20-30° C rychlostí 1-2° C/hod., u nádrží nad podlahou 3-5° C/hod. Z těchto údajů je zřejmé, že ochlazování kalící kapaliny bez nuceného ochlazování je velmi pomalé a může být použito pouze u málo používaných nádrží. Vodní lázeň se ochlazuje tak, že se přivádí studená voda a odvádí teplá voda přepadem do odpadu. Olej je možno ochlazovat dvojím způsobem.

První způsob je ochlazování oleje přímo v kalící nádrži, do které se umístí trubkový chladič. K urychlení přestupu tepla je chladič doplněn nucenou cirkulací otepleného oleje.

Použije-li se chlazení oleje trubkovým chladičem, umístěným v nádrži, je třeba stanovit výpočtem velikost povrchu chladiče, kterým se předává teplo oleje do vody a rozměry chladičího hada. Povrch chladičů se spočte ze vzorce:

$$Q_h = k \cdot F \cdot \tau_{STŘ} \quad /J/ \quad (15)$$

$$\tau_{STŘ} = \frac{T_{01} + T_{02}}{2} - \frac{T_{V1} + T_{V2}}{2} \quad /° C/ \quad (16)$$

Druhým způsobem chlazení oleje je jeho ochlazování mimo kalící nádrž v centrálním olejovém hospodářství. Tohoto způsobu se používá tehdy, je-li kalících nádrží větší počet a je-li jejich tepelné zatížení takové, že by chlazení oleje přímo v nádržích nebylo možné. Nádrž určená pro tento způsob chlazení má kolem horního okraje po celém obvodu sběrný žlab, do kterého je oteplený

olej vytlačován přívodem studeného oleje. Ze sběrného žlabu je odváděn do centrálního olejového hospodářství.

Výpočet centrálního olejového hospodářství

Předpokládá se, že má být odvedeno z oleje všechno teplo, které mu bylo předáno ze vsázky. Ztráty tepla potrubím a ve sběrné nádrži se neuvažují. Množství oleje a vody se vypočte z rovnice:

$$Q_n = V_0 \cdot c_0 \cdot (T_{01} - T_{02}) = V_V \cdot c_V \cdot (T_{V2} - T_{V1}) \quad (17)$$

Při výpočtu se předpokládá, že teplota ochlazeného oleje nemá klesnout pod 30°C a teplota ohřátého oleje nemá přestoupit 80°C . Teplota vody před vstupem do chladiče se volí $15-20^{\circ}\text{C}$ a voda se oteplí o $10-15^{\circ}\text{C}$. Chladicí plocha, která určuje velikost použitého chladiče:

$$F = \frac{Q_n}{k \cdot \tau_{stř}} \quad /m^2/ \quad (18)$$

$$\tau_{stř} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{2,3 \cdot \log \frac{\tau_1}{\tau_2}} \quad /^{\circ}\text{C}/ \quad (19)$$

Rozdíl teplot závisí na provedení chladiče. V protiproudých chladičích se počítají:

$$\tau_1 = T_{01} - T_{V2} \quad (20)$$

$$\tau_2 = T_{02} - T_{V1} \quad (21)$$

V souproutých chladičích jsou:

$$\tau_1 = T_{01} - T_{V1} \quad (22)$$

$$\tau_2 = T_{02} - T_{V2} \quad (23)$$

V protiproudých chladičích se dosáhne lepšího využití chladicí vody.

3. ROZBOR SORTIMENTU VÝKOVKŮ Z HLEDISKA JEJICH TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ /14, 13/

Tepelné zpracování: NORMALIZAČNÍ ŽÍHÁNÍ

Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 966 614,85 kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Materiál	Hmotnost (kg)
L-VARD	3 684,-	14 220	296 003,-
L-W6H	10 680,1	11 523	176 727,-
L-AMS	140,-	11 529	324,-
L-AK2S	2 160,-	11 600	79 780,-
11 373	22 190,-	14 140	1 672,-
12 052	37 000,-	17 345	1 312,-
14 341	4 800,-	11 416	12 200,-
12 020	12,-	12 060	92 075,-
11 500	156 646,75	12 010	1 680,-
12 024	4 286,-	14 230	6 900,-
12 050	29 143,-	12 061	27 200,-

Tab. 3

Tepelné zpracování: KALENÍ

Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 31 512,7 kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Materiál	Hmotnost (kg)
L-AKVS	12 166,5	17 345	7 201,-
17 242	9 345,2	17 246	2 800,-

Tab. 4

Tepelné zpracování: ŽÍHÁNÍ

Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 192 255,- kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Teplota žíhání (° C)
17 022	160,-	820
L-ROL	2 550,-	740
14 331	11 000,-	740
14 341	155 250,-	740
17 029	10 200,-	820
17 023	256,-	820
P-AK1TD	2 850,-	820
L-AK2S	56,-	820
14 140	1 683,-	740
17 027	8 250,-	820

Tab. 5.

Tepelné zpracování: ŽÍHÁNÍ NA MĚKKO

Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 422 464,- kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Materiál	Hmotnost (kg)
L-CNL	84,-	L-2CH2N4A	1 420,-
13 240	25 956,-	12CH2N4A	5 280,-
14 209	107 385,-	11 600	20 980,-
14 240	315,-	15 260	14 400,-
14 109	136 398,-	15 230	68 311,-
16 240	69,-	14 140	32 546,-
12 050	9 320,-		

Tab. 6

Tepelné zpracování: NORMALIZAČNÍ ŽIHÁNÍ A POPOUŠTĚNÍ .
 Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 164 885,7 kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Materiál	Hmotnost (kg)
L-TER	45 873,5	14 140	192,4
L-AUTOR	4 305,-	L-CM3	664,2
L-ROL	62 605,7	16 220	1 300,-
15 260	3 915,-	L-BOR2	1 122,-
L-ALI5	301,-	L-AL14	1 751,-
L-HORC	7 675,5	15 128	18 200,-
14 331	218,-	L-CE2	424,4
L-NIT2	8 503,-	R-ROLN	7 835,-

Tab. 7

Tepelné zpracování: ZUŠLECHTĚNÍ NA DOLNÍ PEVNOST
 Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 215 510,5 kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Materiál	Hmotnost (kg)
14 140	416,-	17 027	8 250,-
12 061	27 200,-	14 230	6 900,-
L-W6H	5 091,5	L-AUTOR	594,-
L-CE2	414,-	L-AK2S	2 160,-
12 050	4 415,-	17 022	120,-
15 230	57 100,-	15 260	14 400,-
13 240	23 425,-	12 060	64 800,-
14 240	225,-		

Tab. 8

Tepelné zpracování: ZUŠLECHTĚNÍ NA STŘEDNÍ PEVNOST

Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 2 300,- kg

Materiál	Hmotnost (kg)	Materiál	Hmotnost (kg)
13 240	1 800,-	14 341	500,-

Tab. 9

Tepelné zpracování: ZUŠLECHTĚNÍ NA HORNÍ PEVNOST

Celková hmotnost tepelně zpracovávaných výkovků: 300,- kg

Materiál	Hmotnost (kg)
L-NIT2	300,-

Tab. 10

Materiály L-VARD, L-W6H, L-AMS, L-ROL, L-CNL, L-2CH2N4A, L-TER, L-AUTOR, L-AL15, L-HORC, L-NIT2, L-ROLN, L-CM3, L-BOZR, L-AL14, L-CE2 jsou označeny podle ONL 2100, P-AK1TD, L-AK2S, L-AKVS podle ONL 2101 a 12CH2N4A podle GOST 4543-48.

V kalírně se tepelně zpracovává přibližně 700 druhů výkovků o celkové hmotnosti 2 500 t/rok. Z předchozích tabulek je vidět, že i sortiment materiálů výkovků je značně pestrý. Hmotnost výkovků se pohybuje asi od 0,05 kg do 16 kg. Na výkresech KMM-285-02 a KMM-285-03 jsou nakresleny výkovek s minimální hmotností a rozměry a výkovek s maximální hmotností a rozměry. Oba výkovky je možno použít pro všechny operace tepelného zpracování jako hlavní činitelé ovlivňující volbu pece. Maximální teplota tepelně zpracovávaných výkovků je při kalení 1 050 °C, při normalizaci 880 °C a při popouštění 650 °C. Žíhání na měkko se provádí za teploty 740 °C, mimo dvou materiálů (14109 a 14209), určených k výrobě ložisek, které se žíhají za teploty 780 °C. Poslední operací tepelného zpracování je žíhání za teploty 820 °C. Celkové hmotnosti jednotlivých operací tepelného zpracování výkovků za rok jsou pro kalení 249 623,2 kg, normalizaci 1 131 500,55 kg, popouštění 382 996,2 kg, žíhání ložisek 243 783 kg, žíhání na teplotu 740 °C 349 164 kg a žíhání na teplotu 820 °C 21 772 kg.