

VŠST v Liberci

20. července 1963

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Maceček Karel

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: materiálů a tváření

Fakulta: strojní

Školní rok: 1962/63

DIPLOMNÍ ÚKOL

Autorské právo se řídí směrnici MSK pro
závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne
13. července 1962. Věstník MSK č. 21 ze dne
31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/52 Sb.

pro s. Macečka Karla

obor Strojírenská technologie

Protože jste splnil požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnice ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomní úkol:

Název tematu: Vývoj technologie výroby turbinových lopatek.

- Pokyny pro vypracování:
- 1) Sledujte technologické postupy při výrobě přesných odlitků metodou vytavitelného modelu, způsobu kování, ly výrobního postupu, kontroly rozměrové a tvarové přesnosti, jakosti povrchu a vad odlitků (povrchových i skrytých).
 - 2) Shromážděte a prostudujte prameny a literaturu o výrobě turbinových lopatek, nejúčelnější konstrukci a provedení vtokové soustavy a o metodách zkoušení lopatek bez porušení materiálu.
 - 3) Při normální seriové výrobě v závodě sledujte a zhodnoťte rozměrovou a tvarovou přesnost a jakost povrchu a sledujte příčiny závad povrchových i skrytých.
 - 4) Navrhněte pro danou turbinovou lopatku (rozváděcí lopatka malé Kaplanovy turbíny) výrobní postup, řízení na výrobu voskových modelů a vtokovou soustavu. Na ověření návrhu odlejte navrženým postupem pokusnou serii zmíněných odlitků, které zhodnoťte po stránce rozměrové přesnosti, jakosti povrchu povrchových i skrytých vad.
 - 5) Zhodnoťte navržený výrobní postup technicky i ekonomicky a podle technicko-ekonomických ukazatelů v závodě zhodnoťte aplikaci metody přesného lití na výrobu lopatek.

V 14/1963

Rozsah grafických laboratorních prací: 1221112 v laboratorních pracích

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran včetně tabulek a diagramů.

Seznam odborné literatury:

Pišek: Konstrukce odlátek.
Doškál: Přesné lití do keramických forem.
Brabenec: Příručka pro sléváče.
Ozerov: Lití po vyplavljajemym modeljam.
Skleník: dtto
Kondratěv: Konstruirovanije litych detalej i osnastki.
Kondralev: Gidroturbostrojenije.
German: Technologie proizvodstva malych i srednich gidroturbin.
Bause: Technologie der Herstellung von Grosswasserturbinen.
Pišek: Nauka o materiálu.

Vedoucí diplomní práce: Prof. Ing. Bohumil O d s t r ě ě l

Konsultant: Ing. Jaroslav E x n e r

Datum zahájení diplomní práce: 10. června 1963

Datum odevzdání diplomní práce: 20. července 1963



Vedoucí katedry

Prof. Ing. Bohumil Odstrčil

Doc. Ing. Jiří M a y e r

v Liberci

dně 6. května

Ú v o d .

Metoda přesného lití se v poslední době v důsledku svých předností ve srovnání s jinými způsoby zhotovení součástí značně rozšířila. Tímto způsobem je možno vyrábět přesné součásti složitých tvarů, které se normálními způsoby obrábění dají jen velmi těžce vyrobit. Dají se takto odlévat odlitky váhy několika gramů až do váhy několika kilogramů s tloušťkami stěny od 0,5 až 1 mm a většími, které se již dále neopracovávají nebo vyžadují jen minimálního opracování. V důsledku toho se velmi snižuje pracnost při zhotovování výrobků. U složitých výrobků dochází ke značným úsporám na celkových nákladech.

Způsob lití metodou vytavitelného modelu není nový. Byl znám již ve starověku, kdy se této metody používalo ve starém Egyptě, Číně a Indii. Ve středověku užíval této metody italský sochař Benvenuto Cellini, který tímto způsobem odléval sochy. V našem století se začalo lití metodou vytavitelného modelu rozvíjet až ve 30. letech, když byly získány potřebné žáruvzdorné formovací materiály.

Princip metody je jednoduchý. Model součásti se vyrábí z vosku s potřebnými přídávky na smrštění. Používá se nízkotavitelného materiálu nebo materiálu, který snadno shoří nebo zmrzlé rtuti. Ze stejného materiálu se zhotoví i vtoková soustava. Modelní celek se namáčí do keramické hmoty a vytváří se skořepina, která se pak zaformuje nebo se model přímo zalije formovací keramickou hmotou. Po ztuhnutí keramické hmoty se voskový model vytavuje horkým vzduchem, párou nebo v horké vodě. Po vytavení se získá negativ odlitku. Po vypálení se forma vyplní roztaveným kovem. Po zchladnutí se odlitek vytluče z formy, očistí

VŠST LIBEREC
DP-ST 138/63

Vývoj technologie výroby
turbinových lopatek

DP — STR. 2

20. ČERVENCE 1963

Maceček Karel

od keramické hmoty, odřeže se vtoková soustava. Odlitek je tvarově shodný s modelem.

Pro metodu přesného lití je typické, že se uplatnila nejprve při výrobě odlitků ze speciálních vysoce legovaných a žárupevných slitin, u nichž je ztížená obrábitelnost a kovatelnost a při složitých tvarech se ztěžuje obrábění běžnými způsoby. Tento proces se dá aplikovat na ocel a barevné kovy, a vhodnou kombinací lze dosáhnout dobrých vlastostí odlitků.

1. Technologické postupy při výrobě odlitků
metodou přesného lití.

1.1. Výroba forem.

Podle způsobu výroby modelů jsou formy pro výrobu:

- a/ vstřikovým litím z těstovitého stavu
- b/ vstřikovým litím z tekutého stavu
- c/ tvářením z polotuhého stavu
- d/ gravitačním litím s dotlačováním
- e/ dutých modelů nebo částí vtokových soustav vyplachováním

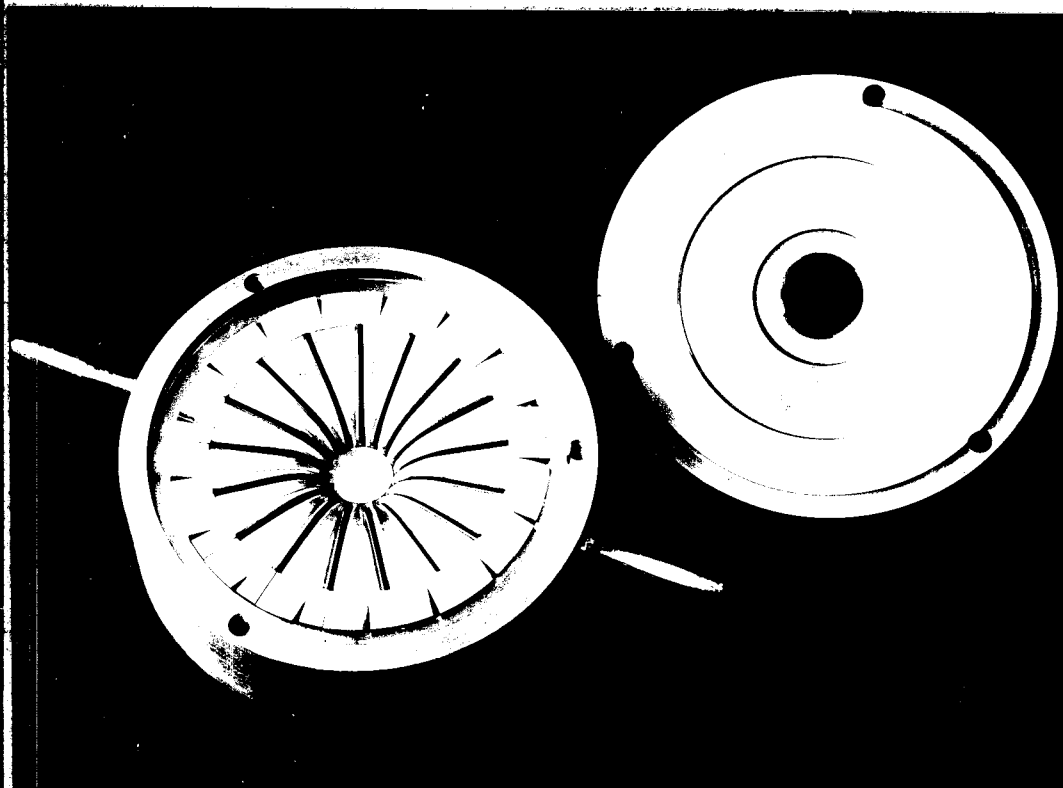
Formy se zhotovují buď z oceli z jednoho kusu mechanickým obráběním, nebo z oceli či litiny s hrubě předlitým vnějším a vnitřním tvarem a mechanickým obráběním. Z nízkotavitelných slitin, plastických hmot nebo kombinované. Rozdělujeme je dále na formy pro výrobu jednoho modelu nebo více modelů najednou. Ocelové formy z jednoho kusu nebo s hrubě předlitým tvarem se vyrábějí běžným třískovým obráběním nebo elektrojiskrovým způsobem.

Pro zhotovení formy z nízkotavitelných slitin je zapotřebí tzv. matečný model, tvarově shodný s daným výrobkem, ale je zvětšen o přídavek na smrštění, na obrábění je-li odlitek po odlití dále opracováván a přídavek na broušení. Dále se dávají přídavky vytvářející zaváděcí části voskového modelu při sestavě, přídavky vytvářející nálitky k odlitku a může obsahovat též celou nebo část vtokové soustavy výlisku voskového modelu nebo odlitku. Není však podmínkou, neboť vtokovou soustavu jakož i některé jiné přídavky je možno zhotovit v modelové formě třískovým opracováním.

Matečný model se zhotovuje jakýmkoliv způsobem z kovových slitin nebo kovů-musí však souhlasit s

platným příslušným výkresem součásti, zvětšené o příslušné předepsané přídavky.

Jako materiálů pro výrobu forem se používá ocel ČSN 11 600, hliníkové slitiny, zinek, mosaz, bronz a také plastické hmoty.



obr.1. Rozebiratelná ocelová forma oběžného kola turbíny PDH 7 RS.

Postup výroby formy z nízkotavitelné slitiny používáný v IBSZKG.

K modelu se určí ocelový formovací rámeček bez vnitřních úkosů se zaváděcími kolíky. Na modelu se určí vtoková soustava pro modelové směsi a dělicí rovina. Model se zaformuje do první poloviny pomocného formovacího rámu. K zaformování se užívá jemných pískových formovacích směsí běžně užívaných ve slévárnách, např. bentonitový písek s Lozornem, fenolový písek

téže zrnitosti jako předešlý.

Forma se vysuší i s modelem v sušící elektrické peci na teplotu 150-250°C po dobu 3-6 hodin. Po vysušení se dělicí rovina formy opatří grafitovým vodním nátěrem a tento se osuší. Na první formovací rám se položí druhý formovací rám. Horní formovací rám se neohřívá.

Do takto připravené formy se nalévá roztavená slitina. Jako slitiny se používá eutektická slitina složení 58% Bi a 42% Sn o bodu tání 139°C. Po ztuhnutí slitiny se písková forma vytluče, očistí se dělicí rovina a znovu se opatří za tepla grafitovým vodním nátěrem. Na takto zhotovenou polovinu formy se položí rámeček a zalije se lehkotavitelnou slitinou 58% Bi a 42% Sn při teplotě 145-160°C. Slitina se nechá zvolna schladnout na teplotu okolí. Po schladnutí se obě poloviny formy od sebe oddělí a kovový model se vyjme. Dělicí rovina se očistí, případné závady se opraví a dutina formy se vyleští jemným smirkovým papírem. Vtokový a plnicí otvor se vyvrtá, případně se vtokové zářezy vypilují.

K modelové formě náleží utahovací třmeny a dotlačovací píst o průměru vtokového otvoru zmenšený o 0,4mm.

1.2. Modelové hmoty a výroba voskových modelů.

Pro výrobu modelů se užívá dvou druhů modelových hmot:

- a/ pro výrobu modelů gravitačním litím za normálního tlaku
- b/ pro výrobu modelů vstřikovým litím pod tlakem

Na vytavitelné modely se používá různých materiálů, např. vosků, polystyrenu, zmrzlé rtuti, nízkotavitelných slitin, síry, směsi síry s grafitem a pod. Ze všech známých hmot jsou nejvýhodnější voskové směsi, protože dobře reprodukuje tvar a nezanecháva-

jí žádné zbytky po vytavení a jsou regenerovatelné. Mají však menší pevnost a větší smrštění než např. modely z plastických hmot. Modely z plastických hmot se však obtížně sestavují do stromečků.

Jako modelových voskových směsí se používají vosky přírodní, živočišné nebo rostlinné. Jsou to např. včelí vosk, karnaubský vosk, stearin, parafin, ceresin, ozokerit. Dále se k nim řadí i vosky syntetické, které mají konstantní složení a tedy i vlastnosti.

Samotných vosků se obvykle neužívá, nýbrž se používají směsi více vosků, které dosahují lepších vlastností. Provozně vhodné pro gravitační odlévání modelů jsou kvaternární směsi parafin-včelí vosk-montánní vosk-kalafuna a ternární směs parafin-včelí vosk-montánní vosk. Pro vstřikové lití modelů se používají směsi montánní vosk-včelí vosk-asfalt, které mají krátký interval tuhnutí a dostatečnou pevnost. Jejich nevýhodou je obtížné tavení ve vodě. Tyto nevhodné vlastnosti nemá kvaternární směs montánní vosk-parafin-kalafuna. Použité voskové hmoty se mohou dále použít za předpokladu, že se směs neohřívá na vzduchu na 120°C.

Vlastní výroba voskových modelů se provádí buď gravitačním odléváním s dotlačováním, nebo vstřikováním. Forma pro výrobu voskových modelů se nahřeje a vnitřek formy se natře dělicí směsí jež brání přilepení modelu k formě. Vylisované voskové modely mají mimo svůj správný tvar navíc zbytky po dělicí rovině a vtokovou část. Odstraňují se chirurgickými nožíky. Takto upravené modely se sestavují do stromečků.

Nejčastějšími závadami modelů jsou nezaběhlé části, způsobené nízkou teplotou vosku, malým tlakem nebo studenou formou. Uzavřením vzduchu, který způsobuje pučňovitost modelu. Mnoho vadných modelů vzniká neopatrným vyjímáním z formy a zacházením s nimi.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 7 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel
1.3. <u>Sestavování modelů.</u> Jednotlivě se odlévají pouze odlitky větší váhy. Vtoková soustava se zhotovuje zvlášť. K modelu se přilepí. Vtokové soustavy se obvykle zhotovují z přetaveného vosku. Drobnější odlitky se sestavují do stromečků a odlévají se společně. Stromeček se skládá z většího počtu modelů spojených vtoky s vtokovou soustavou, která bývá při hromadné výrobě odlitek normalisována. Uspořádání modelů ve stromečku a vtokový systém záleží na způsobu odlévání, sestavování modelů do stromečku, obalování, vytavování, na způsobu oddělování odlitek od vtokové soustavy. Sestavování stromečků se provádí: - a / zaléváním vtoků vytavitelných modelů ve svislé poloze modelovou hmotou - b / zasunováním modelů do otvorů doplňovacího vtokového systému, odlitého samostatně. Zapájení modelů se provádí pomocí nahřáté špachtle nebo speciálním elektricky ohřívaným nožikem - c / spojováním připájením. Mezi model a vtok se vloží nahřátý nožík a po natavení hmoty se model přitlačí na vtok a nechá se ztuhnout. Po sestavení modelů do stromečku se nechá stromeček zchladnout. Po zchladnutí celku na normální teplotu je možno stromeček obalovat.		

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 8 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel
1.4. <u>Výroba keramických forem.</u> Podle způsobu zaformování modelu rozeznáváme způsob: a/ bezobalový b/ obalový Při bezobalovém způsobu se voskový model zalévá keramickou hmotou. Při obalovém způsobu se nejdříve na modelu vytvoří 3-4 vrstvy z keramické hmoty a pak se teprve zaformuje. Zaformování se provádí buď zaléváním keramickou hmotou, nebo pouze zasypáním pískem. Formovací hmoty pro přesné lití jsou kašovité konzistence. Jsou složeny z vazné kapaliny v níž jsou rozmíchány žáruvzdorné látky vhodné zrnitosti. Vazné látky jsou vodní, vodně alkoholické nebo jen alkoholické koloidní roztoky kysličníku křemičitého SiO_2. Ztuhnutí formovacích hmot je vyvoláno stavovou změnou těchto koloidních roztoků. <u>Příprava vazné kapaliny.</u> Jako vazné kapaliny pro keramické hmoty se používá hydrolysovaný etylsilikát. Pro hydrolysu se používá etylsilikátu 40. Hydrolysa se provádí tak, že se přidává takové množství vody, aby byl téměř všechn přítomný etylsilikát převeden na SiO_2. Připravený alkohol s přibližně 20% SiO_2 se zředí alkoholem na požadovanou koncentraci SiO_2 ve vazné kapalině. Teplota při hydrolyse se má pohybovat kolem 40°C. Jako katalysátoru se používá kyseliny solné. <u>Hydrolysa etylsilikátu prováděná v IBSZKG.</u> Metylalkohol odvodněný na 1% 2 400 ccm kondensovaný etylsilikát 40 1 000 ccm kyselina solná a/ odměří se předepsané množství a vlije se do čisté láhve b/ přidá se 1/2 předepsaného množství HCl a dokonale se promíchá		

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbínových lopatek	DP — STR. 9 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel
	c/ za stálého míchání se pozvolna přidává předepsané množství kondensovaného etylsilikátu 40 d/ přidá se další 1/2 předepsaného množství HCl a dokonale se promíchá e/ teplota roztoku nesmí přestoupit 40°C f/ roztok se nechá 24 hod.stárnout <u>Formovací hmoty pro keramické formy.</u> Tuhý podíl kašovitých formovacích směsí je složen ze žáruvzdorných keramických hmot jako je např.mletý křemen,silimanit,mullit,zirkon,korund aj.Teplota tavení těchto žáruvzdorných hmot musí být větší než je teplota litého kovu.Při volbě formovacího materiálu je třeba brát zřetel na reaktivitu keramické hmoty s kovem.Nejčastěji používanou surovinou je mletý křemen-teplota tavení 1710°C.Je nejlevnější surovinou. Nevýhodou je,že způsobuje silikosu plic. U formovacích hmot závisí na jejich zrnitosti. <u>Způsoby výroby keramických forem.</u> 1.výroba pevné keramické formy přímým zaléváním Formovací směs se skládá z práškovité keramické hmoty vhodné zrnitosti.Bývá to křemenná moučka,mletý zirkon nebo silimanit a alkosol s obsahem 10-20% SiO₂.Namíchaná směs se vystaví účinku sníženého tlaku,aby se z ní odstranil vzduch.Pak se plní formovací přípravky s upevněnými stromečky tak,že směs stéká po stěně.Formovací přípravek se vhodně otáčí a naklání,aby se zamezilo ulpění vzduchových bublinek na modelu.Následuje vakuování forem.Pak se forma umístí na vibrátor a strásáním se kašovitá formovací směs napěchuje.Nadbytečná vazná kapalina vystoupí na povrch a odstraní se. Formy se suší na vzduchu 12-24 hodin a dosušují ve vhodných sušárnách.	

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbínových lopatek	DP — STR. 10 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel
Vytavování vosku se provádí horkým vzduchem, párou nebo se formy vkládají do horké pece, kde se vytavování děje kondukčním ohřevem. Vypalování forem se provádí v pecích vyhřátých na 200-250°C a zvyšováním teploty o 40-60°C za hodinu se vyhřejí na 600°C. Potom se teplota zvyšuje co nejrychleji na 950-1100°C. Na této teplotě se udržuje forma asi 3 hodiny. Pak se vyjme z pece a do horké formy se odlévá kov. <u>2. výroba pevné keramické formy obalováním</u> Modelní celky se namáčejí do řídké kašovité obalové směsi a jednotlivé vrstvy se zasypávají hrubším pískem a obal se nechá ztuhnout. Pro obalování se používá kašovitá směs z tuhého keramického podílu a vazné kapaliny. Obalování stromečků se provádí tak, že se stromeček uchopí za konec vtoku a ponoří do keramické obalové hmoty až k hornímu okraji modelu vtoku. Stromeček se různě naklání, aby mohl uniknout vzduch. Po 10-30 sec. se model vyjme a otáčí se jím všemi směry, aby se vytvořila stejnoměrná vrstva. Zasypání se provádí v zásypovém stroji. Obalený a zasypaný stromeček se postaví na vtokovou část a nechá se 24 hodin schnout za normální teploty. Obalování se provádí 3-4 krát za účelem dosažení silnější vrstvy. Takto obalené stromečky jsou připraveny k zaformování. Podle způsobu zaformování rozlišujeme: - a/ pevnou keramickou formu vyrobenou obalovým způsobem a zalitou kašovitou formovací směsí - b/ pevnou keramickou formu vyrobenou obalovým způsobem a zasypanou suchou výplňovou směsí s víčky ze směsi CT - c/ zasypanou skořepinu - d/ samonosnou skořepinu Postup při výrobě pevné keramické formy zaléváním obaleného stromečku kašovitou formovací směsí, použí-		

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 11
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

vaný v IBSZKG:

formovací směs:křemič.písek HOB 00	32 kg
křem.písek mletý FF	28 kg
magnesitová moučka	0,30 kg
hydrolysov.etylsilikát	14 l

Na vibrační stůl se položí kovová podložka. Na podložku se postaví obalený modelní celek vtokem dolů. Shora se nasune formovací trubka a vystředí se. Na dno se nalije vrstva roztaveného vosku 5-20 mm silná a nechá se ztuhnout. Tím se upevní modelní celek a utěsní spára. Pak se opatrně nalévá formovací keramická směs za stálých vibrací vibračního stolu. Formovací trubka se zcela vyplní formovací směsí. Strásáním se vytěsní vzduch a dosáhne se vyšší pevnosti formy. Forma se nechá v klidu na vzduchu 16-24 hodin. Po ztuhnutí se odtrhne od podložky a vosková zátka se dlátem vyjme. Forma je připravena k vytavování.

3. formování obaleného modelu zasypáním suchou výplňovou směsí

Obalený a vysušený stromeček se vloží do přípravku, nasadí se rámeček a napěchuje se asi 20 mm silná vrstva písku rozmíchaného s vodním sklem. Potom se plní suchým pískem do výšky asi 20 mm od horního okraje rámečku a celý systém se uzavře napěchováním směsí z písků rozmíchaných s vodním sklem. Víčka se vytvrdí CO_2 . Následuje vytavení vosku např. v sušárně vyhřáté na 100°C . Žihání formy se provádí na $900-1050^\circ\text{C}$.

4. výroba zasypané skořepiny

Obalený a vysušený stromeček se ponoří do vroucí vody a model se vytaví. Vytavování se děje tepelným nárazem. Nevzniká zde potrhání skořepiny. Tavení modelu nastává dříve, než se celý model zahřeje. Po vytavení se skořepina vloží do ocelového rámu s ocelovým

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 12
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

dnem a vrstvou křemenného písku. Pak se skořepina zasype pískem do takové výšky, aby vtoková jímka vyčnívala asi 10 mm. Vtoková jímka se kryje víčkem. Žíhání se provádí v peci vyhřáté na 800-900°C a po vyrovnání teploty vzniklé poklesem se rychle ohřeje na 900-1050°C, na níž se udržuje 2-5 hodin.

5. výroba samonosné skořepiny

Stromeček se obalí několika vrstvami keramické hmoty a zasypává se křemičitým pískem. Voskové modely se vytaví horkým vzduchem nebo v horké vodě. Skořepina se vloží do pece 600°C teplé a vyhřeje se rychle na 900-1050°C. Odlévá se do žhavé formy.

1.5. Tavení materiálů.

K tavení materiálů se používá obloukových pecí a indukčních bezjádrových pecí. Před založením vsázky musí tavič zjistit, jaký druh materiálu byl zpracován v předcházející tavbě a jakou měl kelímek vyzdívku. Pro vyčištění kelímku se provádí tzv. výplachová tavba. Ocel se nesmí nikdy tavit po barevných kovech. Tavením v těchto pecích se obvykle podstatně nemění složení slitiny. Je tudíž nutno volit čistou vsázku.

Tavení žáruvzdorných slitin:

tavení se provádí v elektrických indukčních pecích basicky vydušaných. Basická výduska musí sahat alespoň 30 mm nad maximální hladinu taveniny.

Postup při tavení:

- uvede se generátor do chodu za současného otevření chladicí vody pro generátor a tavící pec
- vsadí se odvážené množství vsázky do pece a zasype se struskotvornou přísadou
- zatíží se generátor na maximum a vsázka se občas postrčí do pece, zvláště začne-li se vsázka tavit

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbínových lopatek	DP — STR. 13 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel
	d/ po natavení vsázky se stáhne první struska a přidáním nové struskotvorné přísady se krycí struska obnoví e/ teplota taveniny se zvyšuje na předepsanou tavicí teplotu a struska se znovu odstraní f/ přidají se předepsané legující přísady při současném udržování taveniny na předepsané teplotě g/ po roztavení přísad je tavenina připravena k lití do forem 1.6. <u>Lití taveniny do forem.</u> a/ <u>gravitační lití</u>-je to nejrozšířenější způsob lití. Roztavený kov se z pece vlije do lící pánve, ze které se pak lije do forem. b/ <u>sklopné lití</u>- Při sklopném lití se forma upevňuje na pec a společně s pecí se při odlévání otočí o 180° a kov se přelije z kelímku do formy. Objem kelímku bývá o 10-20% větší než objem roztaveného kovu. Forma se upevňuje na pec lícím otvorem k povrchu roztaveného kovu. c/ <u>odstředivé lití</u> Pro odstředivé lití se používá forem s kašovitou výplňovou směsí. Formy musí být pevné, neboť při rotaci na ně působí kov značnou silou. Vyžíhaná forma se umístí do přípravku a vystředí se. Tekutý kov se vlévá do rotující formy nálevkou umístěnou nad vtokem formy. Po odlití se forma nechá rotovat 5-6 minut. Odstředivým způsobem lití se dosáhne přesného vyplnění složitých tvarů dutin forem účinkem odstředivé síly na tekutý kov. Vyznačuje však poněkud vyšší zmetkovitost než gravitační způsob lití. d/ <u>vakuové lití</u> Stabilizační a vytvrzující přídavné prvky Ti a Al	

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 14 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel
vytváří při tavení a lití oxidické blány, které se nepříznivě projevují v kvalitě odlitků a zvyšují procento zmetkovitosti. Při tavení těchto slitin v indukčních pecích kelímkových nebo malých pecích obloukových nelze ani při největší péči dosáhnout metalografické čistoty materiálu v odlitku bez oxidických blán a plén, což jest hlavním problémem tavení a lití žárupevných materiálů volně na vzduchu. Při tavení a lití ve vakuu dochází k zanedbatelným propalům Ti a Al. Přítomnost oxidických blán v odlitku je zanedbatelná. Při tavení ve vakuu odpadá práce se struskou. Nelze totiž během tavení odstraňovat z taveniny strusku aniž by se pec neotvírala. I při tavení ve vakuu se vytváří na hladině roztaveného kovu struska, která je vytvořena převážně ze zrníček z výdusky. Pro vakuové lití se mění složení keramických obalů. Běžně užívaný křemičitý písek - mletý křemen ozn. FF - nevyhovuje a proto se používá dostupného umělého korundu - Al_2O_3. Hydrolyzovaný etylsilikát vyhovuje i nadále jako pojídlo. Používá se jemnějších podílů korundu /15, 25, 32, 41/, neboť má velkou specifickou váhu a rychle se usazuje. Jemnými podíly se však snižuje prodyšnost. <u>Popis tavícího zařízení používaného v IBSZKG.</u> Indukční bezjádrová kelímková tavící vakuová pec na vsázku maximálně 24 kg oceli zn. Heraeus /obr. 2 / typu IS2EM-EL, napětí 250 V max, knitočet 4 000 Hz, příkon 30-50 kW, provozní tlak max 1×10^{-3} torr, je tvořena dvouplášťovým kesonem z nerezavějící oceli, chlazeným a ohříváným vodou. Kromě zařízení k měření tlaku třemi tlakoměry - membránový, termistorový a tzv. studená katoda - jsou k tavicímu zařízení instalovány dva ponorné pyrometry Pt, PtRh, dávkovač přísad v průběhu tavby, dávkovač inertních plynů, regulační klapka pro		

regulaci ssacích rychlostí, otvírací hydraulické zařízení a čerpadla. Vyčerpání tavicího kesonu o obsahu 300 l trvá 3-5 minut na hodnotu 1×10^{-5} Torr.

Výduska kelímku se skládá z MgO a Al_2O_3 . Kysličníky musí být prosté železa a jeho oxidů.



obr. 2. Vakuová pec zn. Heraeus typu ISZEM-EL.

1.7. Uvolňování odlitků z forem a čištění.

Po odlití a dostatečném zchladnutí formy se odlitky vytluckávají z formy buď ručně nebo pneumatickým kládívem. Uvolňování odlitků ze sypkých formovacích směsí je snazší a je mechanisováno vyklápěcím zařízením. Keramické obaly se odstraňují pomocí sekáčů a bodců. Zbytky keramiky se odstraňují buď loužením v roztaveném hydroxydu sodném nebo otryskáváním.

Nejčastěji se otryskává pneumatickým zůsobem. K otryskávání se obvykle užívá křemenného písku o zrnitosti 0,2-0,5 mm. Tryská se tlakem nejvýše 3 atm. Může se používat také litinové drti. Má větší úběr, je trvanlivější a méně práší než písek. Tryská se tlakem do 7 atm. Zrnitost drti se volí podle požadované jakosti povrchu.

1.8. Oddělování odlitků od vtokové soustavy.

Po očištění odlitků od zbytků keramické hmoty se odlitky oddělují od vtokové soustavy. Odlitky z křehkých materiálů a těžce obrobitelných materiálů se oddělují od vtoků:

urážením-úderem dřevěné nebo gumové paličky na odlitek

anodomechanickým řezáním

rozbrušováním-výhodné pro materiály těžce obrobitelné

Odlitky dobře obrobitelných materiálů se oddělují:

řezáním pilou-pásovou i kotoučovou

soustružením

stříhem

kroucením

upalováním autogenním řezákem

1.9. Kontrola výrobního postupu.

Kontrola výrobního postupu zaručuje dodržování technologického postupu a tím získání zdravých odlitek. Vstupní kontrola provádí rozborů dodaných materiálů. Kontroluje přesnost a kvalitu forem na vytavitelné modely. Mezioperační kontrola sleduje dodržování předepsaného postupu a bezpečnostních opatření.

1.10. Kontrola odlitek.

Kontrola odlitek má za úkol vyřadit vadné odlitky, aby se nedostaly k dalšímu opracování a určit příčiny závad. Kontrola odlitek závisí na podmínkách přesnosti odlitek a funkci, kterou bude vykonávat. Součástí pracující při velkém zatížení, vysokých teplotách, v korosním prostředí a pod., jejichž porušení vede k velkým škodám, vyžadují zvlášť důkladnou kontrolu. Kontrola odlitek se provádí:

- 1/ na povrchové vady
- 2/ na vnitřní vady
- 3/ na rozměrovou přesnost

Kontrola odlitek vnější prohlídkou.

Provádí se dvěma způsoby. První předběžná kontrola se provádí po prvním očištění stroměčku od obalu. Umožňuje nalézt příčiny licích vad a navrhnout odstranění zmetků. Druhá kontrola se provádí po konečném očištění odlitku podrobným prohlížením každého kusu. Čistota povrchu se hodnotí srovnáním se vzorovým kusem. Odlitky mající vady se srovnávají s dovolenými vadami vzorového kusu nebo podle popisu v technických podmínkách. Dobré odlitky i odlitky s dovolenými vadami se předávají k dalšímu opracování. Vadné odlitky se vyřadí.

Kontrola rozměru.

Geometrické rozměry odlitek se kontrolují podle ličího výkresu, na kterém jsou obvykle rozměry, které je

třeba kontrolovat. Kontrola rozměrů se dělí:

1/ periodická kontrola všech rozměrů odlitku

2/ stálá kontrola kolísajících rozměrů

Všechny rozměry odlitků se proměřují při zavedení nové formy na voskové modely do výroby. Proměření odlitků při zavedení nové formy umožňuje získání přehledu o přesnosti odlitků a zabrání zavedení nepřesné formy do výroby. Proměření odlitků umožňuje počítat se všemi nutnými přídávky na obráběné povrchy a vylučuje zmetky při mechanickém obrábění odlitků kvůli malým přídávkám.

V sériové a hromadné výrobě se rozměry odlitků měří speciálními měřidly-průchozími a neprůchozími kalibry, válečkovými kalibry, třmenovými kalibry aj.

V malosériové výrobě se měří rozměry universálními měřicími nástroji-posuvná měřítka, mikrometry.

Některé složité odlitky, kde kromě absolutních rozměrů je důležité vzájemné rozložení oddělených povrchů a řezu, se proměřují ve speciálních přípravcích pomocí šablon a kalibrů.

Kontrola odlitků na povrchové a vnitřní vady.

Ze všech vad odlitků je nejtěžší zjistit trhliny, které často bývají pouhým okem nezjistitelné a při kontrole vnitřních vad rentgenem se také nezjistí. Někdy je možno trhliny odlitku zjistit pomocí zvětšení / 7x, 10x / po naleptání, ale nejlépe se trhliny zjistí speciálními metodami-magnetickou, luminiscenční a barevnou defektoskopií.

a/ magnetická defektoskopie

Slouží ke zjišťování vad u feromagnetických materiálů. Dají se zjišťovat vady nejen rázu mechanického, tj. trhliny, dutiny apod., nýbrž i odchylky od daných fyzikálních vlastností, odchylky od požadované struktury, změny chemického složení apod.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 19
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

Podle druhu zjišťovaných vad se dělí magnetická defektoskopie na:

magnetickou makrodefektoskopii- tj.zjišťování mechanických vad

magnetickou mikrodefektoskopii - tj.zjišťování fyzikálních odchylek

Metoda magnetické makrodefektoskopie spočívá v tom,že ve zmagnetovaném předmětu se zvětší v místě vady magnetický odpor a nastane rozptyl magnetického toku.Magnetický tok je nucen vlivem zvětšeného magnetického odporu vystoupit zčásti do okolního prostředí .Největšího rozptylu magnetického toku se dosáhne,vystupuje-li vada na povrch.Rozptyl rychle klesá,roste-li vzdálenost vady od povrchu předmětu.Nejzřetelněji se vada projeví,stojí-li kolmo ke směru magnetického toku jdoucího předmětem.V opačném případě,splývá-li směr vady se směrem toku,rozptylový tok prakticky nevzniká a vada se nezjistí.

Magnetické pole se vytvoří buď podélné,vložením mezi póly magnetu,nebo příčné v tom případě,jestliže prochází předmětem elektrický proud.

Nejrozšířenějším způsobem je tzv.metoda prášková. Přivede-li se feromagnetický prášek buď suchý nebo rozptýlený ve vhodné kapalině na povrch zmagnetovaného předmětu,nastane pohyb částic prášku do míst, v nichž vlivem vady vzniká rozptyl magnetického toku. V místě rozptylového pole na povrchu předmětu se práškové částice hromadí a vytvoří zřetelnou stopu, která je obrysem vady.To platí pro vady vystupující na povrch.Vady pod povrchem jsou práškovou metodou indikovány jen tehdy,jsou-li větších rozměrů a nejsou-li příliš hluboko pod povrchem.

Zjišťování vad se provádí buď suchým práškem nebo práškem rozptýleným v minerálním oleji vhodné viskosity.K indikaci vad se používá jemně rozpráškované

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 20
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

karbonylové železo, nejčastěji však prášek magnetitový, tj. feromagnetický kysličník železnato-železitý.

b/ fluorescenční zkouška

Slouží ke zjišťování vad odlitků, vycházejících na povrch. Je založena na vlastnostech kapalin pohlcovat světlo určité vlnové délky a měnit je na světlo druhé vlnové délky. Pro defektoskopii se používá neviditelného ultrafialového světla. Vlivem ultrafialového světla kapalina svítí jasným viditelným světlem.

Sledované součásti se ponoří do vany naplněné kapalinou. Vlivem kapilárních sil proniká kapalina do trhlin. Přebytek kapaliny se s povrchu odstraní proudem vody. V trhlínách se kapalina zadržuje. Součást se posype jemným práškem, jež vytáhne kapalinu z trhlin. Samotný prášek nesvítí, ale zlepšuje zjištění vad. V místech rozložení trhlin prášek vsakuje kapalinu a vytahuje ji na povrch. Potom se součást osvítí ultrafialovým světlem. Kapalina vytažená práškem na povrch fluoreskuje a ohraničuje vady ve tvaru jasných svítících čar viditelných pouhým okem.

Jako prášku se používá jemného kysličníku hořečnatého MgO , jemně mleté křídý, mastku, práškovitého křemene SiO_2 . Jako zdroje ultrafialového světla se používá rtuťové lampy s filtrem z uviolového skla, které propouští ultrafialové světlo a blízkou část spektra.

c/ barevná defektoskopie

Podstata barevné defektoskopie spočívá v tom, že se odlitek namáčí do řídké barvy, která je schopna proniknout do trhlin. Potom se barva s povrchu smyje a odlitek se natře druhou barvou mající pohlcovací schopnost. Vlivem ní vystupuje z trhlin předtím nanesená barva a přesně ohraničuje místa rozložení vad.

Odlitky se před zkouškou odmastí v acetonu, otřou

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbínových lopatek	DP — STR. 21
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

a osuší v sušicím zařízení. Potom se ponoří 2-3krát s intervalem 2-3 minut do červené barvy. Odlitky možno natírat štětcem nebo nastříkat. Po krátké době se červená barva smyje namočením do směsi petroleje a transformátorového oleje / 70:30 /. Na odlitek se nese rychlým ponořením nebo štětcem tenká vrstva bílé barvy. Bílou barvou natřený odlitek se suší a prohlížejí se vady na odlitku. Trhliny na odlitku se označují ostrými červenými čarami na bílém podkladě. Mělké dutiny a póry vystupující na povrch se projeví jako červené body. Nejhlubším vadám odpovídají nejjasnější červená místa. Po kontrole se bílá barva odstraní rozpouštědlem. Všechny látky používané v barevné defektoskopii jsou hořlaviny. Proto barevnou defektoskopii je možno provádět jen při dobré ventilaci a při dodržování protipožárních pravidel.

6/ kontrola odlitků rentgenem

Rentgenové paprsky mají tu vlastnost, že mohou pronikat tuhými látkami. Při tom se část paprsků pohltí kovem a část proniká. Nejrozšířenější metodou rentgenoskopie je fotografická metoda. Spočívá v tom, že do cesty rentgenových paprsků vycházejících z ohniska anodové trubice se dává zkoušený odlitek a za něj fotografická deska. V závislosti na tloušťce odlitku a na jeho pohlcovací schopnosti dávají rentgenové paprsky na fotografické desce více nebo méně tmavé skvrny. Jestliže jsou v cestě paprskům prázdná místa / staženiny, póry apod. / bude množství kovu menší a obraz na fotografické desce bude tmavší. Fotografická deska se ukládá za odlitek do kasety nebo černého papíru jenž nepropouští světlo, ale propouští rentgenové paprsky. Nejen prázdná místa, ale i vměstky, tj. částice s jiným chemickým složením, se dobře zjistí při prosvěcování rentgenovými paprsky.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 22
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

e/ kontrola odlitků ultrazvukem

Kontrola materiálu ultrazvukem je založena na fyzikálním zákonu přímočarého šíření ultrazvukových vln v daném prostředí a na zákonu odrazu a lomu při jejich dopadu na rozhraní dvou prostředí. Ke kontrole se užívá ultrazvukových vln podélných a příčných o frekvenci v oboru 0,5 - 10 Mc/s, takže v oceli jim odpovídá vlnová délka $\lambda = 11,8 - 0,6$ mm. Délkou vlny ultrazvukových kmitů je dána rozlišovací schopnost ultrazvukové metody, neboť v materiálu je možno zjistit takové diskontinuity, jejichž příčné rozměry, kolmé ke směru šíření vln jsou .

Technika zkoušení materiálu ultrazvukem se stala nezbytným doplňkem nedestruktivních metod, neboť umožňuje kontrolu materiálu i v případech, kdy např. rentgenové a gamma paprsky nelze užít pro velkou tloušťku materiálu nebo nevyhovující orientaci vad o jejichž zjištění jde. V jiných případech je ultrazvuk vhodným doplňkem metody prozařováním rentgenovými a gamma paprsky, již se zkontrolují jen ty části materiálu, v nichž byla ultrazvukem vada indikována.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/64	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek.	DP — STR. 23
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

2. Výroba turbinových lopatek.

Lopatky turbin jsou z technologického hlediska složitými a specifickými součástmi. Kombinací částí kružnic různých poloměrů s přímkami, s částmi kružnic jiných poloměrů a mnohdy s obecnými křivkami vznikají složité tvary lopatek. Složité tvary pracovních částí lopatek, složitost tvarů patek, přechod pracovních částí do patek ukazují na netechnologičnost těchto součástí. Vzhledem k těmto složitým tvarům je výroba lopatek turbin třískovým obráběním velmi složitá. Běžně se lopatky vyrábějí buď frézováním z válcovaného materiálu, nebo kováním v zápustce a dalším opracováním. Náklady na strojní výrobu lopatek jsou značné. Je proto snahou vyrobit polotovary lopatky tak, aby další opracování si vyžádalo co nejmenších nákladů. Nejvýhodnější by bylo, aby lopatka byla vyrobena tak čistá, aby se nemusela dále opracovávat.

Při výrobě lopatek turbin ze žárupevných slitin třískovým obráběním se vyskytují značné obtíže. Obrábění těchto slitin vyžaduje podstatně nižší řezné rychlosti než běžné legované oceli. Roste také spotřeba energie i spotřeba nástrojů. Neopatrným obráběním mohou v materiálu lopatky vzniknout nepříznivá tahová pnutí, čímž se může významně snížit životnost výrobku. Někdy se dokonce součást úplně znehodnotí, neboť při ohřátí na provozní teplotu, vnitřní pnutí povrch roztrhává - vznikne síť trhlinek. Při výrobě lopatek turbin frézováním je využití materiálu jen asi 10%.

Přesným kováním lopatek turbin se dosáhne značných materiálových úspor a úspor při obrábění. Odpadá většinou frézování / tato operace je zejména u těžko obrobitelných materiálů pro výrobu lopatek tur-

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 24
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

bin velmi obtížná / a lopatka se na listě po kování pouze brousí. Při kování musí velikost deformace ve všech místech výkovku po posledním ohřátí na kovací teplotu přesáhnout kritickou hodnotu, která leží mezi 5-10% redukce. Jinak je nebezpečí zhrubnutí zrna při následujícím tepelném zpracování. U slitin pro nejvyšší nároky se při přesném kování této podmínky těžko dosahuje a volí se proto přídavek asi 1 mm na plochu.

Z technologických nároků se klade hlavní důraz na tvárnost za tepla - na kovatelnost. Kovatelnost 12% chromových ocelí i běžných ocelí austenitických je dobrá. Avšak kovatelnost nově vyvíjených žárupevných slitin na bázi Ni-Cr se stále zhoršuje a při obsahu vytvrzujících prvků asi 6% jsou již slitiny téměř nekovatelné.

Požadavek výroby polotovaru lopatky, který vyžaduje minimálního opracování, splňuje nejlépe metoda přesného lití. Tímto způsobem se dosahuje vyhovující přesnosti a jakosti povrchu a často se pracovní plocha nemusí již dále obrábět a provádí se jen její broušení a leštění. Při výrobě lopatek litím se značně snižuje pracnost výroby, zmenšuje se spotřeba materiálu a zvyšuje se přesnost výrobků.

Metodou přesného lití je možno odlévat jednotlivé lopatky nebo i celá kola. Nevýhodou litých lopatek jsou časté vady odlitků jak povrchové tak i vnitřní. Tyto nedostatky jsou však vyváženy úsporami materiálu a úsporami na celkových nákladech.

2.1. Výroba lopatek tepelných turbin.

Při výrobě turbin se věnuje velká pozornost výrobě lopatek. Lopatky parních a plynových turbin pracují za obtížných podmínek - kombinované statické a dynamické namáhání za vysokých teplot v korosním prostředí - a jejich výroba je vzhledem ke složitosti jejich tvaru velmi pracná. Normální legované oceli by toto namáhání nesnesly, proto se používá speciálních žárupevných materiálů.

Žárupevnými slitinami se rozumí takové slitiny, které jsou za vysokých teplot trvale mechanicky namáhány. Pro spalovací turbíny se požaduje použitelnost dlouhodobá, alespoň 100 000 hodin při teplotách přes 600°C až do 800°C.

U materiálů pro velmi vysoké teploty bývá značnou zábranou jejich kování, které je zdrojem potíží nejen proto, že slitina při kování praská, ale i proto, že při tepelném zpracování po tváření silně a někdy nepravidelně vzrůstá zrno. Proto roste zájem o možnost použití litých lopatek. Tato možnost je výhodná tehdy, když otázka ceny materiálu a efektivnosti výrobní technologie je závažná.

Problematika použití litých lopatek.

Ačkoliv metody přesného lití jsou známy delší dobu a creepové hodnoty litých materiálů jsou vysoké, použití litých lopatek oběžných se dosud příliš nerozšířilo. Naproti tomu přesně litých rozváděcích lopatek se dnes již běžně používá.

Rozbor vlastností litých a kovaných materiálů:

a/ mechanické hodnoty kovaných materiálů bývají obvykle poněkud vyšší u materiálů tvářených, především vrubová houževnatost. Avšak pevnost při 20°C kovaných materiálů je u vrcholných slitin nepřijemně vysoká.

b/ pevnost při tečení mají vrcholné slitiny lité

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 26 20. ČERVENCE 1963 Maceček Karel

vyšší než tvářené materiály, zvláště jsou-li tavené a lité ve vakuu.

- c/ hodnoty meze únavy jsou u litých slitin všeobecně horší. Zhoršení meze únavy je zvláště význačné při tahovém předpjetí. Zhoršení meze únavy lze přičítat především hrubozrnné struktuře litého materiálu. Naopak lze zase vhodným tvarem snížit koncentrace napětí a zmenšit namáhání lopatky.
- d/ kované materiály jsou poněkud odolnější proti tepelnému rázu než lité, ikdyž rozdíl není řádový.
- e/ hodnoty litých materiálů vykazují obecně větší rozptyl ať jde o creep, o únavu nebo o mechanické hodnoty. Kontrola litých lopatek je obtížnější a méně jistá, kdežto u kovaných lopatek se při obrábění snadněji závady objeví.
- f/ ekonomie výroby mluví jednoznačně ve prospěch litých lopatek, využití materiálu je vyšší, cena podstatně nižší.

2.2. Slitiny pro výrobu lopatek tepelných turbin.

Vlastnosti materiálů závisí nejen na jejich chemickém složení / případně tepelném zpracování /, nýbrž i na technologii jejich výroby. Nové materiály se vyvíjejí cestou změn chemického složení. Chemické složení slitiny je dáno především maximální teplotou pro kterou má slitina ještě bezpečně vyhovět. Pro nižší teploty, asi do 600 C, se volí 12% chromová ocel s různými přísadami / Mo, W, V, Co /. Pro teploty do 650-700°C přichází v úvahu austenitická ocel / obvykle 16% Cr-13% Ni s dalšími přísadami /. Pro velmi vysoké teploty se dnes používá dvou slitin. První je na bási Co, druhá je na bási Ni.

Charakteristickým zástupcem slitin s kobaltem je slitina označovaná obchodním názvem Vitallium. Lze ji použít podle literárních údajů až do teploty

815°C a vyrábí se z ní přesným litím ve všech průmyslově vyspělých státech většina rozváděcích lopatek leteckých spalovacích turbin.

Slitiny na bázi Ni jsou při použití nejvýhodnějších chemických složení použitelné až do 950-1000°C.

Chemické složení některých zahraničních litých slitin s Ni a Co.

slitina	C	Cr	Ni	Mo	W	Co	Ti	Al	Nb
Inconel 713C	0,2	13	71	4,5	-	-	0,7	6,0	20
Nicrotung	0,10	12	60	-	8	10	4,0	4,0	-
MC 58	0,2	10	55	5	-	20	3,7	4,8	-
S 816 C	0,38	20	20	4	4	/43/	-	-	4
Vitallium	0,25	27	3	5,5	-	/62/	-	-	-

Materiály pro odlitky používané v I BS ZKG:
AKNC Poldi - směrné chemické složení není pro materiál AKNC stanoveno.

Ei-437B / SSSR / - slitina shodná s AKNC

C	Si	Mn	Cu	S	P	Cr	Ni	Ti	Al	Fe
0,08 0,1	max 1,0	max 0,4	max 0,2	max 0,009	max 0,015	19,0 22,0	zbyt.	2,0 2,8	0,4 1,0	max 4

AKTN - Poldi - SONPKladno

C	Si	Mn	Cu	S	P	Cr	Ni	Ti	Al	Fe
0,12 0,18	0,6 1,0	max 0,8	-	max 0,015	-	15,0 17,0	28,0 32,0	1,4 2,2	-	zbyt.

Nimonic 80 A / Velká Británie /

C	Si	Mn	Cu	S	P	Cr	Ni	Ti	Al	Fe
0,08	max	max	max	max	max	19,0	zbyt.	2,0	0,4	max
0,1	1,0	0,4	0,2	0,009	0,015	22,0		2,8	1,0	4

958 / prozatímní označení /

C	Si	Mn	Co	Mo	P	Cr	Ni	Ti	Al	Fe
0,15	max	max	19,0	5,0	-	9,5	zbyt.	3,5	4,6	max
0,25	0,4	0,3	21,0	5,5		11,0		4,0	5,0	2

2.3. Výroba lopatek vodních turbin.

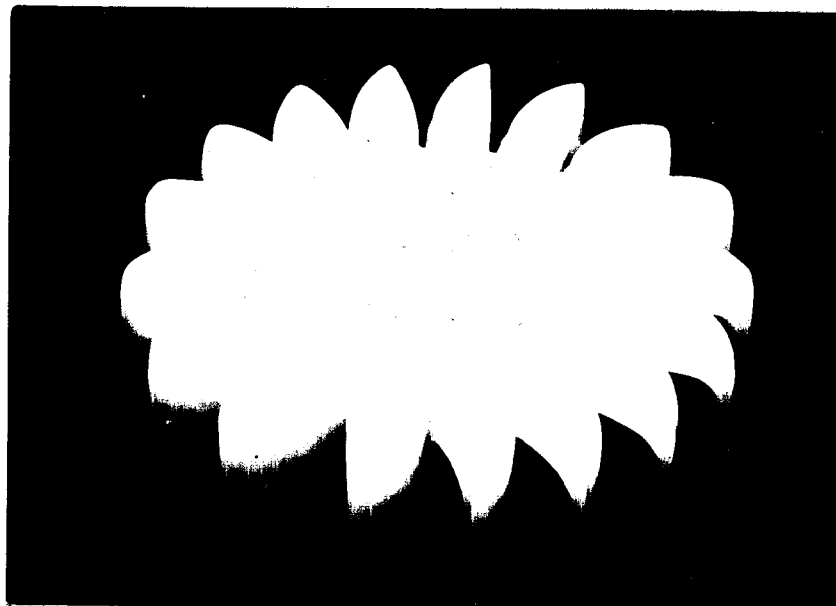
Lopatky vodních turbin pracují v korosním prostředí, při čemž jsou mechanicky namáhány. Dále podléhají kavitaci. Materiály lopatek musí mít proto dobré mechanické vlastnosti, korosní odolnost a odolnost proti kavitaci. Pro výrobu lopatek se používá speciálních korosivzdorných materiálů. Jsou to vysoce legované oceli na bázi chromu, s obsahem Cr více než 12%. Pro výrobu lopatek vodních turbin se používá materiálu AK 1 / litý 42 2905 /, který je vhodný pro odlévání.

AK 1 / 42 2905 / - ČKD

C	Si	Mn	Cu	S	P	Cr	Ni	Ti	Al	Fe
max	max	max	-	max	max	11,5	max	-	-	zbyt.
0,15	0,7	0,9		0,035	0,035	14,5	1,0			

Lopatky velkých vodních turbin se vyrábějí odléváním do pískových forem a dalším mechanickým opracováním. Vzhledem k velké váze těchto lopatek není možno zatím uvažovat o výrobě přesným litím. Možnost použití přesného lití se naskytá při výrobě malých a poměrových turbinek, u nichž váha lopatek je malá. Metodou přesného lití je možno odlévat buď jednotlivé lopatky nebo celá oběžná kola. Litá kola mají větší pevnost ale na druhé straně jedna zmetkovitá lopatka způsobuje zmetkovitost celého kola. U oběžných kol litých vcelku je obtížnější opracování lopatek než u lopatek jednotlivých. Přesným litím se dosahuje dobré kvality povrchu. Na povrchu lopatky se vytvoří tvrdá licí kůra, která zvažuje odolnost materiálu proti korozi a kavitaci. Ke konečnému opracování lopatek obvykle stačí obroušení a vyleštění povrchu.

V I BS ZKG bylo metodou přesného lití odlito několik oběžných kol pro malou Peltonovu turbinku a samostatných lopatek pro Peltonovu turbínu o váze asi 3 kg. Běžně se metodou přesného lití odlévají rozváděcí lopatky, u nichž nejsou kladeny tak velké požadavky na kvalitu jako u lopatek oběžných.



Obr.: Voskový model oběžného kola Peltonovy
turbinky.

1.4. Tepelné zpracování odlitků lopatek turbin.

Slitiny ve stavu litém nejsou zcela homogenní a velmi často mohou mít značná vnitřní pnutí. Mají menší houževnatost, často i pevnost. Aby se dosáhlo dobrých vlastností odlitků, je nutno odlitky podrobit tepelnému zpracování.

Cílem tepelného zpracování je získat homogenní jemnozrnnou strukturu, prostou vnitřního pnutí. V četných případech není možno tohoto cíle dosáhnout jediným pochodem tepelného zpracování. Tak ku příkladu předběžným tepelným zpracováním se vytvoří homogenní struktura a dalším pochodem se způsobí vytvrzení.

V první fázi se provádí rozpouštěcí žíhání. Toto žíhání má za úkol difusí vyrovnat rozdíly v chemickém složení polotovárů a výrobků, jež mají svůj podklad již v primární krystalisaci. Protože difusní pochody jsou vcelku poměrně velmi pomalé, provádějí se pokud možno za vyšších teplot, kdy velká pohyblivost atomů zvyšuje rychlost difuze.

V druhé fázi se provádí tzv. precipitační vytvrzování, které má za úkol potlačit rovnovážný stav prudkým ochlazením a pak stárnutím za obyčejné nebo zvýšené teploty. Vytvrzováním se zvyšuje tvrdost a pevnost odlitku.

Tepelné zpracování některých žárupevných slitin používaných pro lití lopatek turbin.

AKNC - 1. žíhat při 1080°C po dobu 8 hod., ochladit volně na vzduchu

2. vytvrzování: zahřát na 700°C 16 hod. a ochladit na vzduchu

AKRN - 1. žíhání na 1150°C 2 hod., ochladit na vzduchu

2. vytvrzování: zahřát na 750°C 10 hod., ochladit na vzduchu

AKRE - žíhání na 950°C 1 hod., ochladit na vzduchu

AK 1 - 1.kalení z 920-960°C na vzduchu nebo v oleji
2.popouštění:na 640-700°C 2 hod.,ochladit na
vzduchu

2.5. Konstrukce a provedení vtokových soustav při odlévání lopatek turbin.

Vtoková soustava při lití metodou vytavitelného modelu musí splňovat tyto požadavky:

- 1/ nesmí působit na vlastnosti tekutého kovu
- 2/ tekutý kov se nesmí příliš ochladit,naplynit nebo zpěnit
- 3/ kov musí dokonale vyplnit formu bez narušení stěny formy
- 4/ soustava musí zaručit usměrněné tuhnutí-odlitek bez staženin,ředin a pod.

Správnost vtokové soustavy určuje:

- 1/ její vhodná konstrukce se zřetelem k vlastnostem litého materiálu
- 2/ správná doba lití a velikost jednotlivých vtokových průřezů
- 3/ jakost provedení

Tvar vtokové soustavy je dán způsobem lití,který ovlivňuje uspořádání modelů ve stromečku.Při konstrukci vtokové soustavy pro lití lopatky je zapotřebí vycházet z velikosti a tvaru lopatky,aby při tuhnutí bylo dosaženo zdravého odlitku.Nálitkování se provádí v zesílených místech nebo se do zesílené části umístí vtok.Podle tvaru lopatky se volí vtokový systém pro lití vrchem,spodem,zboku,nebo kombinovaný.Zvláště u lopatek,které mají více tepelných uzlů je nutno volit buď nálitkování zesílených částí nebo kombinovanou vtokovou soustavu.Při tom hraje důležitou roli hledisko ekonomické,neboť složité li-

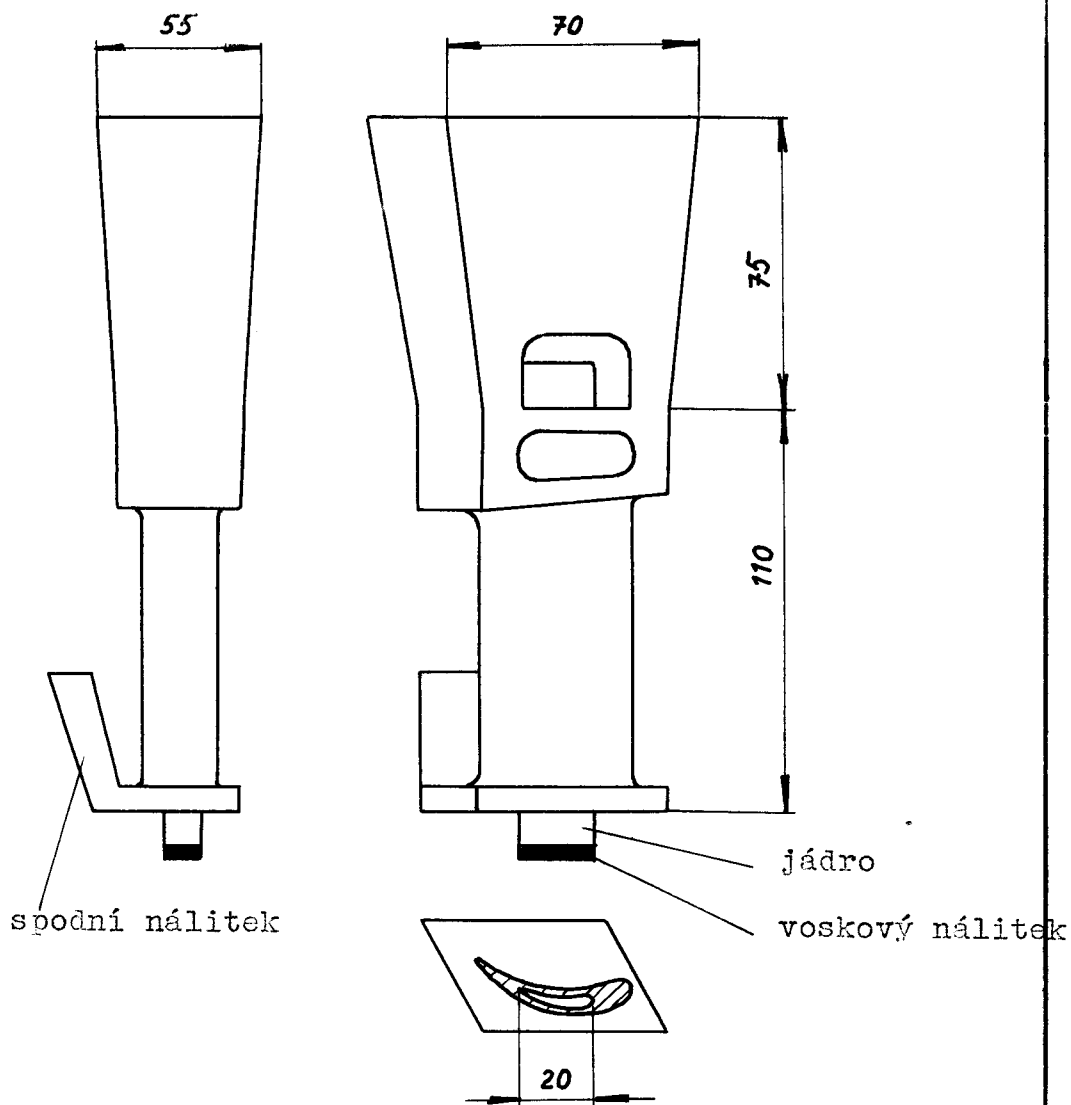
cí soustavy se obtížně sestavují, zhoršuje se vytavování vosku, ztíženo je i oddělování odlitků od vtoků.

Lopatky větších rozměrů se odlévají samostatně. Nálitkování se provádí v zesílených místech a odlévají se obvykle nálitkem.

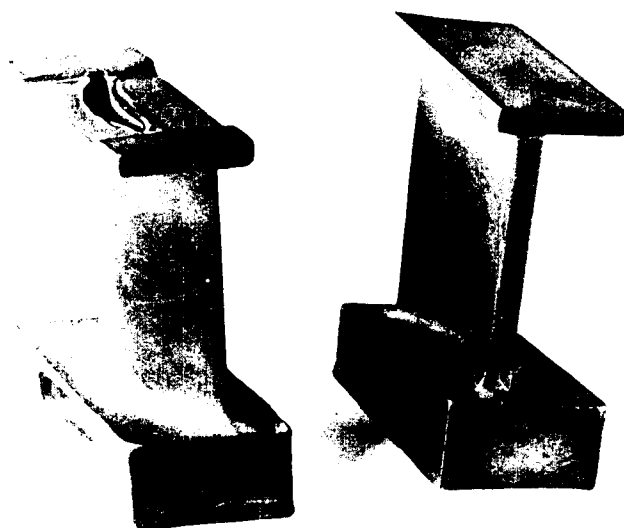
Malé lopatky se skládají do stromečku. Uspořádání se provádí podle způsobu lití.

2.5.1. Lící soustavy pro odlévání lopatek.

Vtoková soustava pro odlévání duté lopatky statoru č. mod. 205 465.



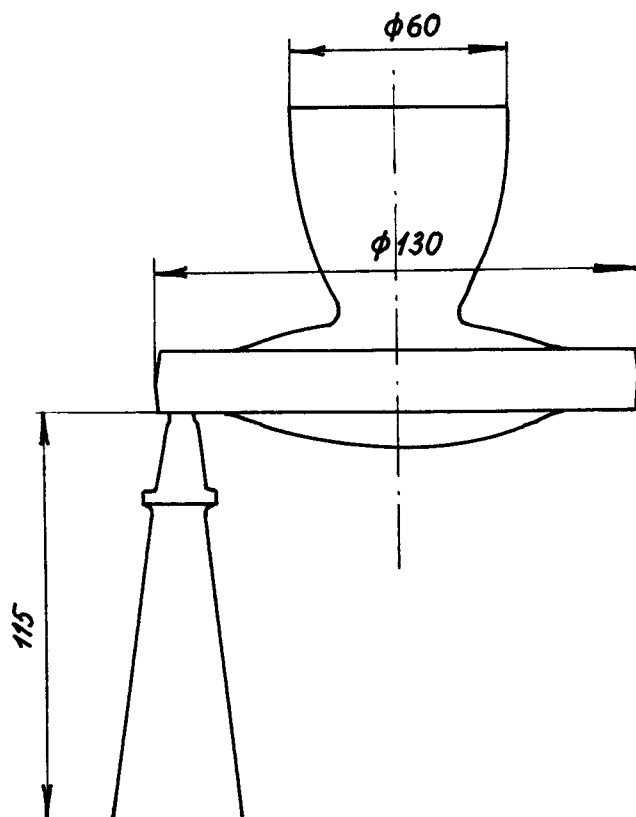
Při lití duté lopatky se používá jádra z CT písku. Vylisované jádro se namáčí v keramické hmotě a vysouší. Pro vymezení dilatací jádra při odlévání se dávají na konce lopatek voskové nálitky, po nichž se po vytavení vosku vytvoří dutiny. Dřívější způsob lití těchto lopatek se prováděl spodním vtokem. Tato soustava se neosvědčila. U uvedené soustavy se lití provádí horním nálitkem. Doplnění spodní části se provádí spodním nálitkem.



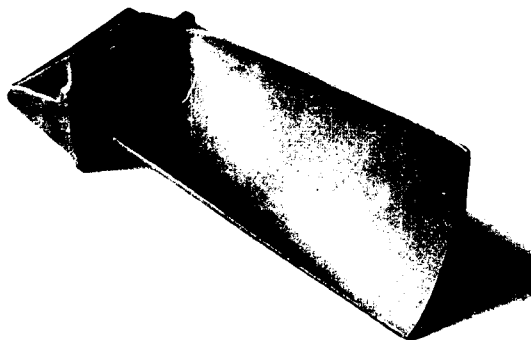
Obr.4. Dutá a plná lopatka statoru.
Materiál AKNC.

Licí soustava pro odlévání oběžných lopatek použ.
v I BS ZKG.

Na obr.5 je vtoková soustava pro odlévání oběžných
lopatek turbíny, která se skládá z kruhového náboje
a nálitku.



Obr.5. Vtoková soustava pro odlévání oběžných
lopatek.



Obr.6. Odlitek oběžné lopatky turbíny.

Vtokové soustavy pro odlévání oběžných kol.

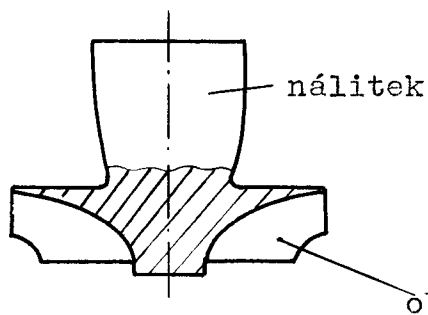
Odlévání oběžných kol turbin se provádí z důvodů:

- a/ tvar odlitku je výhodný pro odstředivé lití
- b/ malá spotřeba formovacích hmot a lepší využití materiálu
- c/ dosažení velké přesnosti lopatek samotných a jejich rozdělení
- d/ odpadá přesné opracování patek lopatky při jednotlivě litých lopatkách
- e/ dosahuje se lepších mechanických vlastností jako celku

Nevýhody:

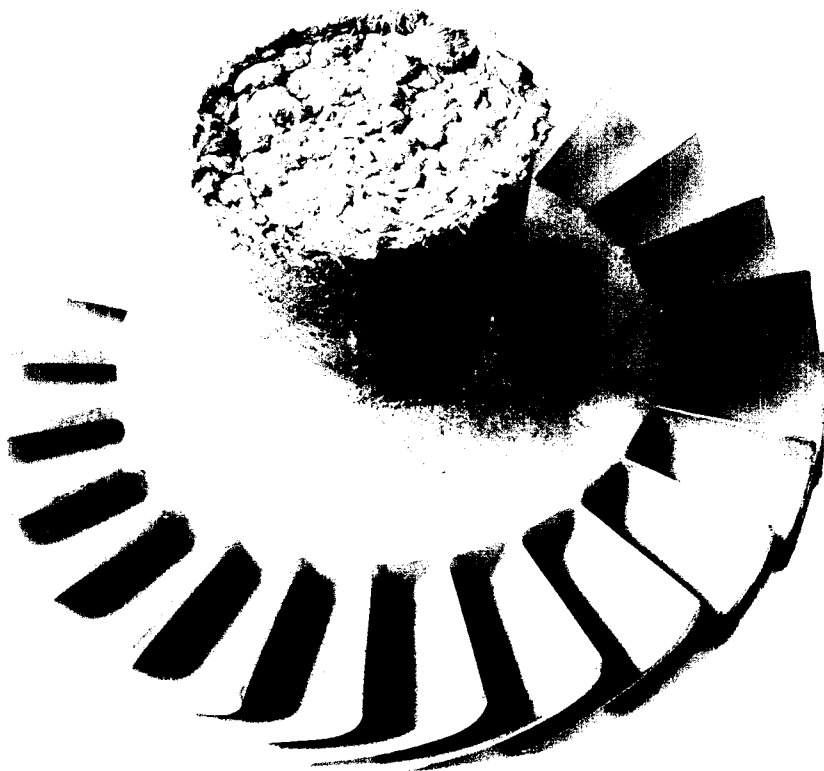
- a/ ztížené čištění, broušení, leštění ve srovnání s jednotlivě litými lopatkami
- b/ zvýšení zmetkovitosti - při vadné jedné lopatce je vadný celý kus

Pro odlévání oběžných kol vyhovuje nejlépe lici soustava se středním vtokem / obr.7 /, který zároveň plní úlohu nálitku.

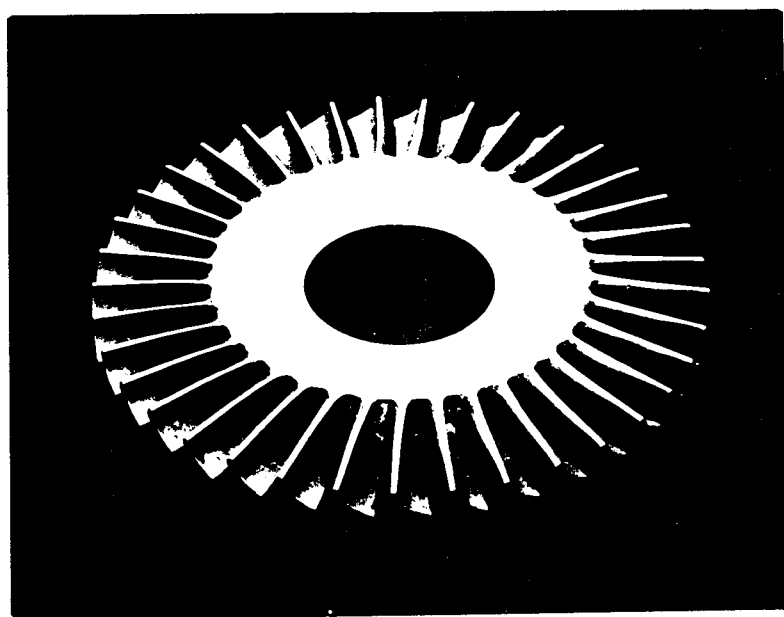


Tento systém však nezachycuje při lití strusku náhodně strženou s kovem. Přesto je tato lici soustava výhodná.

Obr.7. Vtoková soustava pro odlévání oběžných kol.



Obr.8.Licí soustava rozváděcího kola turbíny PDH 16.



Obr.9.Oběžné kolo turbíny PDH 12N.Materiál AKNC.

Lití oběžných kol turbíny PDH 10RN ve vakuu.

V I BS ZKG se lijí oběžná kola turbíny PDH 10RN ve vakuové peci Heraeus IS2EM-EL. Oběžná kola turbíny se používají v turbodmychadlech pro naftové motory. Pracovní kolo pracuje při teplotách výfukových plynů 600-650°C a otáčkách 35 000-40 000 ot.za min.

Pro lití oběžného kola se používá centrálního vtoku, který zároveň plní úlohu nálitku. Lití ve vakuu vyžaduje zvláštní druh nálitkování. Dosazování roztaveného kovu ve vakuové peci je podstatně intensivnější, projevuje se velkou a dlouhou staženinou v nálitku. Pro daný odlitek bylo odzkoušeno několik druhů nálitků, z nichž nejvýhodnější a nejekonomičtější má tvar válce ϕ 60x140. Nálitek je však nutno volit pro každý typ odlitku individuálně. Využití kovu ve srovnání s litím odstředivým se podstatně zhoršilo. U odlitku radiálních oběžných kol činí nálitek 120% váhy odlitku. Při odstředivém lití na vzduchu činil nálitek necelých 50% váhy odlitku.



Obr.10. Odlitek oběžného kola turbíny PDH 10RN.
Materiál AKNC.

VŠST LIBEREC	Vývoj technologie výroby	DP — STR. 38
DP-ST 158/63	turbinových lopatek	20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

2.6. Zkoušení lopatek.

Na lopatky turbin jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska tvarové a rozměrové přesnosti, jakosti povrchu, povrchových a vnitřních vad a mechanických vlastností. Vzhledem k tomu, že lopatky musí vyhovovat vysokým parametrům, je kontrola těchto lopatek zvláště náročná.

Rozměrová přesnost lopatek se měří buď běžnými měřidly, nebo speciálními, jimiž se měří např. tloušťka listu lopatky, nebo se měření provádí ve speciálních přípravcích pomocí indikátorových hodinek. Tvarová přesnost se kontroluje přesnými šablonami, jež se přikládají na profil lopatky a kontrolují se odchylky od požadovaného profilu.

Vzhledem k tomu, že lopatky turbin jsou ze slévárenského hlediska velmi náročné s možnostmi vzniku různých vad, je třeba provádět pečlivé defektoskopické zkoušky. Pro zjištění povrchových závad se používá luminiscenční a magnetické zkoušky. Těmito metodami se zjistí i drobné povrchové trhliny, které při složitém namáhání mohou způsobit únavový lom lopatky. Vnitřní vady se zjišťují rentgenem, ultrazvukem nebo použitím radioisotopů.

2.6.1. Kontrola mechanických vlastností.

Mechanické vlastnosti charakterisuje tvrdost, mez pevnosti, poměrné prodloužení, poměrné zúžení, vrubová houževnatost. Pro zjišťování mechanických hodnot se odlévají tyčky, z nichž se soustružením vyrobí normalisované zkušební tyčky, na kterých se na trhačce provádí zjišťování mechanických hodnot. Mez pevnosti, průtažnosti, poměrné prodloužení, poměrné zúžení nejúplněji charakterisují vlastnosti odlitku a proto jsou tyto způsoby zkoušek základními.

2.6.2. Kontrola tvrdosti.

Kontrola tvrdosti se provádí na odlitcích po tepelném zpracování, kdy se tvrdost ve značné míře vyrovná v celém odlitku. U tenkostěnných odlitků se měření provádí tvrdoměrem Rockvellovým. Licí kůra má jinou strukturu než vnitřek odlitku. Proto pro zjištění skutečné tvrdosti odlitku se licí kůra odbrousí do hloubky 0,5-1 mm. Tvrdost se zkouší v místech, kde odbroušení nezpůsobí rozměrové nebo tvarové změny.

2.6.3. Kontrola žárupevnosti.

Vzhledem k tomu, že lopatky turbin pracují za vysokých teplot, je třeba provádět zkoušky materiálu na žárupevnost. Pro kontrolu žárupevnosti se odlévají tyčky, ze kterých se zhotovují normalisované zkušební tyčky. V závislosti na podmínkách práce lopatky se vzorky zkouší při vysokých teplotách - krátkodobé a dlouhodobé zkoušky pevnosti za tepla.

Zkoušky za tepla se provádějí na speciálním zařízení, jež sestává z upínacího zařízení, které se s upnutou zkušební tyčkou vloží do pece, kde se udržuje požadovaná teplota a provádí se zatěžování vzorku závažím.

a/ Krátkodobá zkouška tečení za tepla.

Při této zkoušce se zjišťuje rychlost tečení v časovém intervalu mezi 25. a 35. hodinou. Napětí, při kterém střední rychlost tečení v této době dosáhne hodnoty $10 \times 10^{-4} \%$ /hod., se nazývá mezí tečení. Přenášení výsledků této zkoušky na delší časy je však problematické.

b/ Dlouhodobá zkouška tečení za tepla.

Dlouhodobou zkouškou se označuje zkouška o trvání řádově tisíce hodin. Zkoušky musí dosahovat alespoň

VŠST LIBEREC DP-ST 136/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 40
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel
1/10 předpokládané provozní doby součásti. Při zkoušce se stanoví průběh deformace s časem nebo se jen zjistí čas do lomu vzorku.		

Sledování kvality odlitků vyráběných

v I BS ZKG.

V závodě I BS ZKG se přesným litím odlévají lopatky i celá oběžná kola turbin. Jako materiálů se používá žárupevných a korosivzdorných materiálů. Většina odlitků pracuje v prostředí s vysokou teplotou nebo v korosním prostředí a jsou mechanicky namáhány. U těchto odlitků jsou požadavky na jakost obzvlášť vysoké, především u oběžných kol, kde porucha může způsobit vážné havarie. Z těchto důvodů je třeba u důležitých odlitků provádět kontrolu zvlášť pečlivě.

Postup kontroly odlitků prováděný v I BS ZKG.

Po odstranění keramického obalu se provádí u odlitků hrubá kontrola zrakem a vyřadí se odlitky s hrubými závadami. Po otryskání se provádí podrobnější kontrola odlitků, při níž se zjišťují drobnější povrchové závady jako zadrobeniny, zálupy, viditelné trhliny apod. Překročí-li počet vad dovolené množství, odlitek se vyřadí.

Ke zjištění trhlin a jiných závad např. poréznost skrz lopatku se užívá luminiscenční zkoušky. Vadná místa se označují červeně.

Vnitřní vady jako staženiny a řediny se zjišťují kontrolou odlitku rentgenem zn. Baltospot 300G.

Zjištěné vady při luminiscenční zkoušce se dále zkoumají např. odbrušováním a zjišťuje se, zda závada je jen povrchová nebo zasahuje-li do hloubky.

Po odlití se proměřují rozměry, které se budou dále opracovávat. Zjišťuje se, zda přídatky na obrábění jsou dostatečné.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbínových lopatek	DP — STR. 42
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

Dobré odlitky se pak předávají k mechanickému o-
pracování. Při opracování se odkrývají některé vady,
které se vyskytují pod povrchem. Po opracování se pro-
vádí kontrola povrchu luminiscenční nebo magnetickou
zkouškou, při níž se objeví závady povrchu odkryté
při opracování.

Tvarová a rozměrová přesnost je většinou dána pře-
sností forem. Nepřesnost forem je způsobena buď jejich
nepřesnou výrobou nebo jejich poškozením, což zvláště
nastává u forem z nízkotavitelných slitin. U forem
ocelových nebezpečí poškození není tak velké. Jinak
bývá tvarová nepřesnost způsobena neopatrným zachá-
zením s voskovými modely při vyjímání modelů z for-
my nebo sestavování modelů do stromečku a obalování.
Jinými příčinami tvarové a rozměrové nepřesnosti je
nezaběhnutí materiálu při lití, zatekliny, vyboulení
odlitku nebo zborcení odlitku, je-li odlitek vytlou-
kán za vyšší teploty. Při neopatrném zacházení s od-
litky dochází často k mechanickému poškození v po-
době prasklin, uražených částí, poškozených hran.

Tvarově a rozměrově nepřesné odlitky jsou obvykle
nepoužitelné.

Po dobu praxe v I BS ZKG jsem prováděl kontrolu
odlitků jak z hlediska povrchových a vnitřních vad,
tak i rozměrové přesnosti. Kontrolu odlitků jsem pro-
váděl při běžné výrobě. Výsledky kontroly jsou uve-
ny v následujících tabulkách.

Povrchové vady odlitků zjištěné kontrolou
po odlití:

Odlitek	Kusů	Způsob lití	Vady odlitku
Rozváděcí kolo č.mod.:209 444	1	odstř.	záhluby na lopatkách- špatným zasypáním obalu
Turbinové kolo PDH 10 RN	2	vak.	zadrogeniny
Rozváděcí kolo č.mod.:209 262	2	odstř.	nezaběhnutí- nízkou licií teplotou kovu
Litá dutá lopatka	11	grav.	zadrogeniny
Záběrník	2	odstř.	záhluby-nevhodné výchozí obalovací látky
Oběžné kolo PDH 7 RS	1	vak.	nezaběhnutí na lopat.- nízkou licií teplotou kovu
Dýza 70 D1/51	5	grav.	zadrogeniny

Nejčastějšími závadami odlitků jsou zadrogeniny, vznikající vymíláním keramické hmoty při lití nebo znečištěním formy při manipulaci s ní. Méně často se vyskytuje nezaběhnutí způsobené poklesem licií teploty materiálu. Vnitřní staženiny se nevyskytují, neboť licií soustavy jsou provozně dobře ověřeny.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 44
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

Vady odlitků zjištěné po mechanickém opracování:

Odlitek	Kusů	Vady odlitku
Oběžné kolo turbíny PDH 7 RS	1	bodliny
Oběžné kolo turbíny PDH 10 RN	8	bodliny
Oběžné kolo turbíny PDH 10 RN	1	trhlina v otvoru pro závit
Oběžné kolo turbíny PDH 7 RS	2	zadrogenina skrz lopatku
Rozváděcí kolo č.mod.:209 440	19	trhlíny a vměstky po celé ploše kotouče

Oběžná kola turbíny PDH 7 RS a PDH 10 RN se lijí ve vakuu. Účinkem sníženého tlaku za vysoké teploty dochází k uvolňování kyslíku z obalové směsi/ SiO_2 /, který reaguje s Ti obsaženým v kovu. Při tom se uvolňuje kyslík, který zvětšuje svůj objem a vytváří v odlitku dutiny, jež vyúsťují na povrch úzkými otvory. Tyto dutiny se objeví až při odstranění povrchové vrstvy kovu při mechanickém opracování.

Zadrogeniny u oběžných kol jsou způsobeny často jediným zrníčkem keramiky, které se vzpříčí v dutině formy, neboť tloušťka stěny lopatek dosahuje v nejtenším místě asi 1,5 mm. Vznikají pak otvory skrz lopatku, čímž je znehodnoceno celé kolo.

U rozváděcího kola ,model N 209440, vznikly závady tím, že se přešlo z původního materiálu AKNT na materiál AKRE, pro který původní vtoková soustava nevyhovuje.

Kontrolu rozměrové přesnosti odlitků jsem prováděl na odlitcích oběžného a rozváděcího kola turbíny PDH 10 RN. U odlitku oběžného kola je důležitá síla lopatek. Měření se provádí ve speciálním přípravku pomocí indikátorových hodinek. Dovolené tolerance rozměrů jsou: $\begin{matrix} +0,5 \\ -0,2 \end{matrix}$ mm.

Měření oběžného kola turbíny PDH 10 RN č.: V 155

	Řez v o 110			Řez v o 80		v o
lop. č.	A - A			C - C		B - B
	28,5	20,3	10,8	22,3	12	12,1
1		2,6	3,45	2,85	3,5	3,75
2		2,6	3,35	2,7	3,4	3,8
3		2,5	3,3	2,7	2,8	3,75
4		2,45	3,3	2,85	3,45	3,7
5		2,65	3,4	2,85	3,6	3,9
6		2,55	3,35	2,85	3,55	3,9
7		2,6	3,45	2,9	3,55	3,95
8		2,65	3,3	2,9	3,5	3,85
9		2,4	3,2	2,85	3,5	3,8
10		2,6	3,35	2,95	3,65	4,0
11		2,5	3,3	2,85	3,45	3,75
12		2,6	3,4	2,9	3,55	3,9
13		2,7	3,45	2,95	3,65	4,05
předeps. rozměr	1,6	2,4	3,2	2,6	3,2	3,5

VŠST LIBEREC
DP-ST 138/63

Vývoj technologie výroby
turbinových lopatek.

DP — STR. 46

20. ČERVENCE 1963

Maceček Karel

Měření oběžného kola turbíny PDH 10 RN č.:V 261

	Řez v o 110			Řez v o 80		v o 50
lop.č.	A - A			C - C		B - B
1	28,5	20,3	10,8	22,3	12	12,1
1		2,5	3,25	2,9	3,5	3,9
2		2,65	3,25	2,9	3,5	3,75
3		2,55	3,3	2,85	3,4	3,65
4		2,5	3,15	2,65	3,3	3,65
5		2,4	3,05	2,65	3,3	3,7
6		2,3	3,0	2,75	3,25	3,6
7		2,5	3,2	2,9	3,4	3,9
8		2,5	3,2	2,85	3,45	3,8
9		2,5	3,2	2,85	3,45	3,95
10		2,45	3,1	2,8	3,3	3,85
11		2,4	3,1	2,75	3,35	3,85
12		2,55	3,25	2,9	3,5	3,9
13		2,5	3,2	2,85	3,4	3,75
předeps. rozměr	1,6	2,4	3,2	2,6	3,2	3,5

Rozměry vesměs odpovídají předepsaným tolerancím.
U kola V 155 nevyhovuje rozměr 2,8 v řezu C-C ve výšce 12 mm. Ztenčení bylo způsobeno odbrušováním povrchové vady.

Měření rozváděcího kola turbíny PDH 10 RN.

U rozváděcího kola je důležitá celková průtočná plocha všech kanálů. Předepsaná průtočná plocha činí $3\,940\text{ mm}^2$. Této ploše odpovídá předepsaná světlost kanálů $8,1^{+0,2}_{0,0}$.

	č.497	č.516
1	8,6	8,7
2	8,5	8,6
3	8,5	8,1
4	8,4	8,5
5	8,4	8,4
6	8,4	8,4
7	8,8	8,2
8	8,9	8,1
9	7,8	8,6
10	8,8	8,8
11	8,5	8,1
12	8,8	8,4
13	8,6	8,3
14	8,1	8,1
15	8,6	8,2
16	8,3	8,2
17	8,6	8,3
18	8,1	8,1
19	8,8	8,6
20	8,6	8,3

Rozměry kanálů vykazují značné odchylky od předepsaných rozměrů. Tyto nepřesnosti jsou způsobeny špatnými rozměry formy na voskové modely. Je třeba proto formu přepracovat.

4. Technologický postup výroby a provedení odlití lopatek.

Pro ověření výroby lopatek turbin metodou přesného lití jsem provedl odlití šesti pokusných serií rozváděcích lopatek malé Kaplanovy turbíny. Zkoušky jsem prováděl ve slévárně přesného lití v I BS ZKG. Pro výrobu voskových modelů jsem použil formu z nízkotavitelných slitin. Forma sloužila na výrobu voskových modelů pro odlitky lopatek z barevných kovů.

Pro vyzkoušení licí soustavy jsem navrhl šest způsobů lití:

- a/ soustava pro odstředivé lití s vrchním vtokem
 - b/ kombinovaná licí soustava pro odstředivé lití
 - c/ soustava s vrchním vtokem a nálitkováním dolního čepu pro gravitační lití
 - d/ soustava s vrchním vtokem a nálitkováním dolního čepu pro odstředivé lití
 - e/ soustava se spodním vtokem pro gravitační lití
- Pro první dvě soustavy jsem použil původního tvaru lopatky-přechod čepů do listu lopatky bez radiusů. U dalších soustav jsem použil již modelů upravených podle obrázku 11.

4.1. Výrobní postup pro odlévání lopatek.

4.1.1. Modelní forma.

Modelní forma je vyrobena slévárenským způsobem sejmutím tvaru dle kovového modelu, zvětšeného o smrštění materiálu odlitku, do lehkotavitelné slitiny. Pro výrobu formy bylo použito eutektické slitiny 58% Bi-42% Sn s bodem tání 139°C. Obě poloviny formy jsou vyrobeny z téže slitiny. Forma má označení B1A.

4.1.2. Výroba voskových modelů.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP — STR. 49
		20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

Voskové modely se vyrábějí gravitačním litím s do-
tlačováním ručním lisem. Jako modelové směsi se užívá
směsi 50% ceresinu a 50% parafinu s bodem tání 57° C.
Tavení voskové směsi se provádí v plechové nádobě
v elektrické sušicí peci s termostatem. Teplota směsi
nesmí překročit 120°C.

Dělicí směs-etylsilikát 28. Odstraňování otřepů se
provádí chirurgickým nožikem. Vtoková soustava se vy-
rábí z vratného materiálu o složení 50% cer.-50% par.

Spojování modelů s vtokovou soustavou se provádí
elektricky ohříváním nožikem a nahřátými dráty.

4.1.3. Obalování modelového celku.

Obalování se provádí keramickou obalovou směsí.
Provádí se máčením modelního celku do etylsilikátové
směsi a zasypáním křemičitým pískem.

Složení obalové směsi:

křemičitý písek FF	9 kg
křemičitý písek HOB 00 přesátý sítím	
0,3 mm	1 kg
hydrolysovaný etylsilikát	4,50 l

Směs se míchá v míchačce pro obalové směsi 30 minut.

Zasypávání se provádí hrubším křemičitým pískem
v zásypovém stroji. Použitý písek - Provodín KM.

Jednotlivé obaly se suší za normální teploty po
dobu 16-24 hod. Obalování se provádí 3-4krát.

4.1.4. Formování obalených modelních celku-

Formování se provádí zalitím obaleného modelního
celku kašovitou formovací směsí.

Formovací směs:

křemičitý písek HOB 00	32 kg
křemičitý písek mletý FF	28 kg
magnesitová moučka	0,30 kg
hydrolysovaný etylsilikát	14 l

Směs se míchá v míchačce Alba Hořovice 10 min. za sucha.
Po přidání hydrolysovaného etylsilikátu 5 min. Směs se

musí do jedné hodiny po namíchání upotřebit.

Strásání formovací směsi se provádí na mechanickém vibračním stroji.

Forma se nechá volně na vzduchu ztuhnout 16-24 hod.

4.1.5. Vytavování modelové směsi.

Provádí se horkým vzduchem na vytavovacím zařízení, jež se skládá:

- a / ukládací rošt pro formy
- b / vzduchovod - trubka vyústující pod rošt
- c / ohříváč vzduchu - plynový hořák
- d / sběrací nádoba pro vytavený vosk

Forma se postaví na rošt vtokem dolů tak, aby vzduchovod směřoval proti voskovému vtoku. Horký vzduch / 80-100°C / vháněný mírným přetlakem vytavuje postupně voskový model. Vytavování se provádí asi 1 hodinu.

4.1.6. Sušení forem.

Vytavená forma se vloží do sušicí komory vtokem dolů a suší se při teplotě 105°C min. 10 hodin.

Sušicí komora: elektricky vyhřívaná / 380 V/18 kW / s termostatem a odtahem kouřových plynů.

4.1.7. Žíhání forem.

Vysušená forma se vkládá vtokem dolů do elektrické pece silitové s termostatem, kde se postupně zvyšuje teplota žíhání od 150°C do 1050°C. Náběh na žíhací teplotu trvá 5-7 hod. Prodleva na teplotě 1050°C je jedna až tři hodiny. Pak se žíhací pec vypne a teplota zvolna klesá při uzavření až na lící teplotu formy. Požitá pec: elektrická žíhací pec silitová s termostatem - 380V/34 kW.

4.1.8. Tavení slitiny.

Tavení se provádí v elektrické indukční bezjádrové peci ozn. ACEC pro 6-10 kg basicky vydusané - příkon pece 52 kVA/380 V.

VŠST LIBEREC	Vývoj technologie výroby	DP — STR. 51
DP-ST 138/63	turbinových lopatek	20. ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

Složení dusací směsi pro elektrickou indukční pec a lici pánev:

magnesitová moučka	53 % váhových
sintramagnesit drcený přesátý, 3 mm zrnění	46 % váhových
Hačec / serpentín / drcený 3 mm zrnění	20 % váhových
kyselina boritá-technická	1 % váhové

Směs se vlhčí dle potřeby:

vodní sklo 48 B6	50 % váh.
voda	50 % váh.

Jako vsázky se užívá tyčoviny nařezané na potřebnou délku. Struskotvornou přísadou je pálené vápno CaO .

4.1.9. Lití formy.

a/ gravitačně - roztavený kov se z pece vlije do ruční pánve basicky vydusané, vyhřáté do červeného žáru. Odlévá se do vyžíhané formy.

b/ odstředivě -

- 1/ vyžíhaná a vychladlá forma na příslušnou teplotu se upíná na odstředivý vertikální lici stroj, umístěný pod úrovní země, vtokem nahoru
- 2/ uzavře se poklop odstředivého stroje / pneumatické zvedání / a otvorem v něm zhotoveným se vloží vtokový nástavec z křemičitých písků
- 3/ pec s natavenou slitinou se sklopí a její obsah se vylije do ruční pánve vyhřáté do červeného žáru
- 4/ z lici pánve se lije kov do rotující formy
- 5/ po odlití se nechá forma několik minut rotovat

4.1.10. Vytłoukání odlitku.

Vytłoukání se provádí po zchladnutí formy pod 300°C na vytłoukacím roštu s odsáváním.

4.1.11. Oddělování odlitků od vtoků.

Oddělování se provádí odřezáváním na anodomechanické pile.

4.1.12. Čištění odlitků.

Zbytky keramiky a kuličky vyskytující se na povrchu se odbrousí ruční bruskou. Konečné očištění se provádí otryskáním křemičitým pískem HOB 00.

4.1.13. Kontrola odlitků.

- a/ povrchová kontrola vnější prohlídkou
- b/ luminiscenční zkouška
- c/ zkouška rentgenem

4.2. Postup provádění zkoušek.

4.2.1. Soustava s vrchním a kombinovaným vtokem pro odstředivé lití.

Soustava s vrchním vtokem je tvořena kruhovým nábojem a nálitkem. Obalená soustava je na obrázku 12. Kombinovaná soustava je tvořena dvěma kruhovými náboji, středním vtokovým kulem a nálitkem. Obalená soustava je na obrázku 13. Lopatky mají tenkou odtokovou hranu. Aby došlo k dobrému zaběhnutí hrany, jsou lopatky vytočeny pod úhlem asi 30° z radiálního směru odtokovou hranou směrem ven.

Pro obě soustavy jsem použil neupravených modelů lopatek - bez zaoblených přechodů. U obou soustav bylo použito stejného výrobního postupu. výr. post. I.

Zhodnocení odlitků:

1/ lopatky odlité prvním způsobem

Při odlití došlo k nedolití dvou lopatek. Bylo to způsobeno tím, že lopatky byly málo vytočeny z radiálního směru a zasahovaly náběžnými hra-

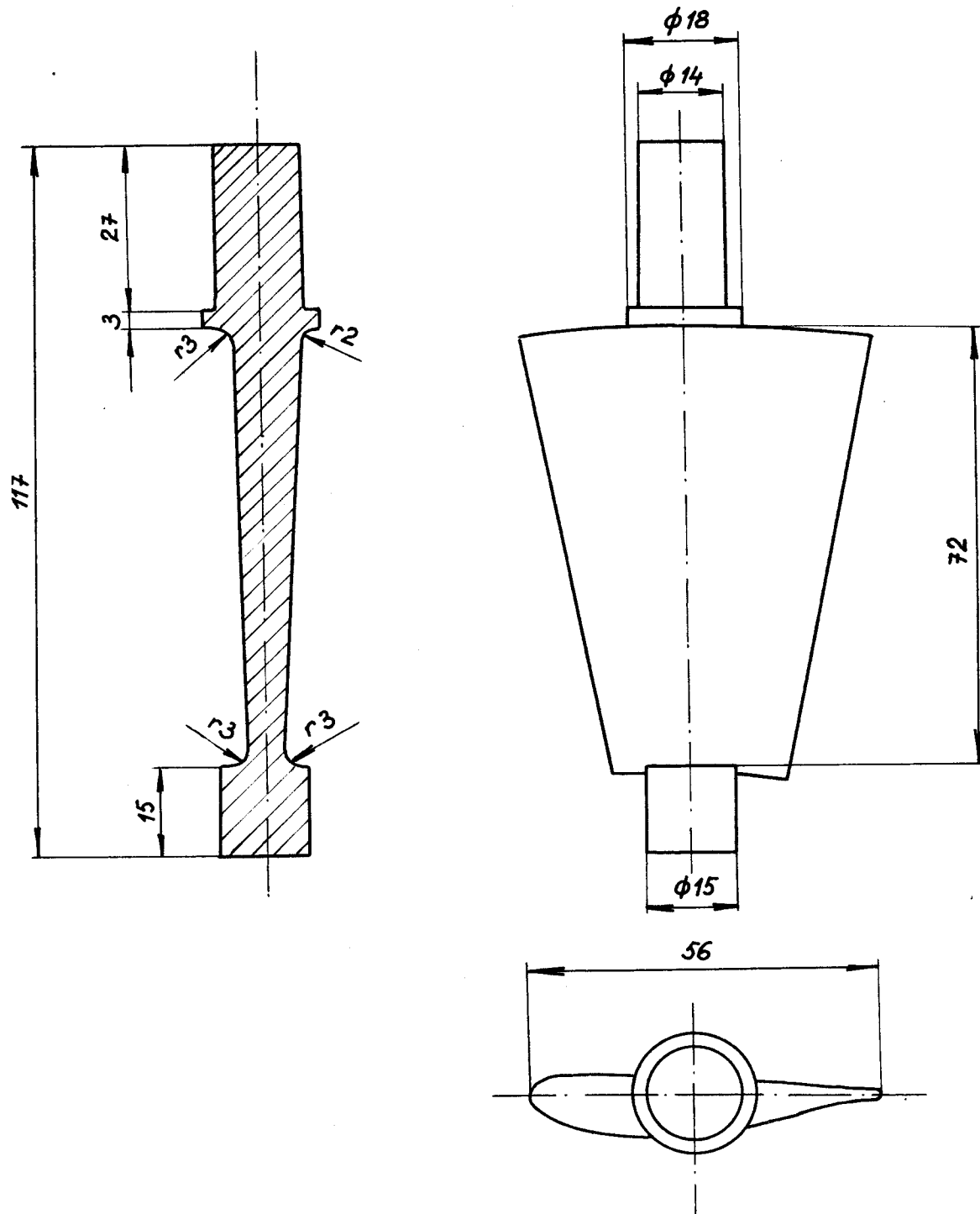
VŠST LIBEREC
DP-ST 138/63

Vývoj technologie výroby
turbinových lopatek

DP-STR.

20.ČERVENCE 1963

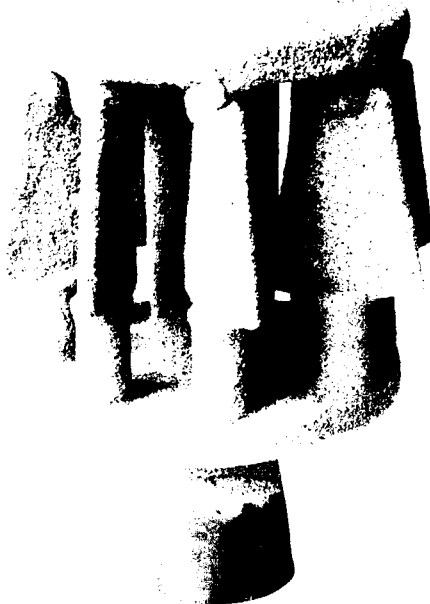
Maceček Karel



Obr.11.Odlitek rozváděcí lopatky malé Kaplanovy turbíny.



Obr.12.Obalená vtoková soustava pro odstředivé
lití s horním vtokem.



Obr.13.Obalená kombinovaná soustava pro odstře-
divé lití.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP-STR. 54	
		20.ČERVENCE 1963	
		Maceček Karel	
Výrobní postup I.			
odlitek: rozváděcí lopatka		váha odlitku: 0,170 kg	
modelní forma	BLA	teplota sušení formy	105°C
vosková směs	parafin 50% ceresin 50%	teplota žhání	1050°C
lisovací teplota	75°C	doba žhání	2 hod.
lisovací tlak	dotlač.ručním lisem	teplota formy při lití	250°C
doba lisování	10 min.	způsob lití	odstředivě
způsob spojování částí modelů	elektrické pájedlo	wáha vsázky	4 k g
vtoková soustava	1 2	materiál	AK 1
počet odlitků na model.celku	9	struskotvorné přísady	CaO
počet dílců modelu pro 1 provedení		tavit v peci	ACEC
obalová směs	etylsilikátová	teplota natavení	
způsob obalování	máčením	teplota lici	1630-1650°C
počet obalů	4	otáčky odstředivky	600
teplota suš.obalů	20°C	doba rotace po. odlití	6 min.
doba sušení obalů min.hod.	I. II.III.IV. 16 10 10 10	teplota odlitku při vytloukání max.	300°C
zásypový písek	Provoďín KM	způsob čištění	obrousit otryskat
způsob formování	vibrováním	požadovaná kontrola odlitku	rentgen luminisc.
Formovací rám	výška průměr 280 220/5		
Formovací směs	etylsilikátová	způsob odstranění nálitků a vtoků	anodomech.
množství form. směsi pro 1 formu	12 kg		
dob a střeasání při formování	2 hod.		
doba tuhnutí formy	min.16 hod.		
způsob vytavení modelu	horký vzduch		
doba sušení formy po vytavení	10 hod.		

nami blízko ke středu. Vlivem malého nevystředění formy zůstaly náběžné části lopatek nedolity.

Na povrchu lopatek se vyskytují zadrobeniny a kuličky, které byly odbroušeny ruční bruskou.

V přechodu čepů do listu lopatky vznikly trhliny. Byly způsobeny náhlými přechody čepů do listu lopatky. Jinak nebyly na povrchu luminiscenční zkouškou zjištěny trhliny.

Ve spodním čepu vznikla staženina, kterou je vidět na rentgenovém snímku - příloha 1. Horní čep, který byl doplňován z licí soustavy, staženinu neobsahuje.

2/ lopatky odlité kombinovaným způsobem

Lopatky byly umístěny tak, že zasahovaly náběžnými hranami blízko ke středu. Vlivem vysokých otáček a nedostatku kovu v licí pánvi došlo k nedolití náběžných hran u všech lopatek.

U těchto lopatek staženiny v čepech nevznikly, poněvadž byly doplňovány oba čepy. Rentgenový snímek je v příloze 2.

Uvedená soustava je vhodná pro získání zdravého odlitku. Nevýhodou je však její obtížné sestavování.

Pro další licí soustavy jsem provedl nálitkování spodního čepu. Použitý nálitek je podtlakový pro doplňování taveniny směrem vzhůru. Při zkoušce šlo o to, zjistit za jakých podmínek může nálitek vykompenzovat staženinu ve spodním čepu. Přechod čepu do listu lopatky jsem na modelech provedl radiusy. Upravená lopatka je na obrázku 11.

Výpočet nálitku.

Pro podtlakový nálitek činí poměr objemu staženiny k objemu nálitku 1:11.

$$V_{sst} = \frac{V_n}{11}$$

 V_{sst} ...objem soustř.staženiny

$$V_{sst} = \beta(V_o + V_n)$$

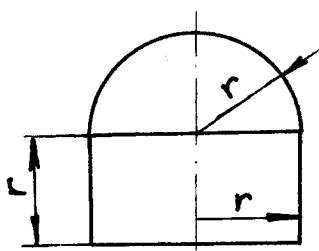
 V_n objem nálitku V_o objem doplňované části
odlitku v cm^3

$$V_n = \frac{11 \cdot \beta}{1 - 11\beta} \cdot V_o$$

 βsmrštění slitiny v setinách V_o4 cm^3 β0,06 - mater.AK 1

$$V_n = \frac{11 \cdot 0,06}{1 - 11 \cdot 0,06} \cdot 4 = 7,8 \text{ cm}^3$$

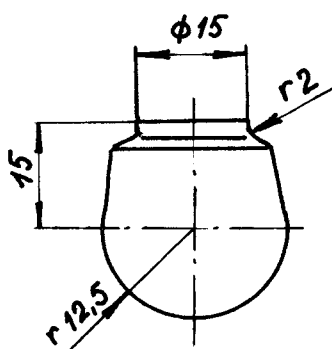
Nálitek tvaru válce zakončeného polokoulí:



$$V_n = \frac{2}{3} \pi r^3 + \pi r^2 h = \frac{5}{3} \pi r^3$$

$$r = 0,575 \cdot \sqrt[3]{V_n} = 0,575 \cdot \sqrt[3]{7,8} = 1,14 \text{ cm}$$

Nálitek upravený:



Pro provedení zkoušek byly nálitky vyrobeny ručně modelováním z modelové hmoty.

Při modelování nebyly přesně dodrženy rozměry nálitků. Většinou byly zvětšeny.

K modelům lopatek byly připevněny připájením.

3.Gravitační lití - nálitkování dolního čepu.

Pro gravitační lití jsem použil lící soustavy podle obrázku 14.Lopatky byly umístěny odtokovou hranou směrem ven a natočeny o 30° z radiálního směru.

Na modelním celku jsem umístil čtyři lopatky.

Použitý výrobní postup - II.

Zhodnocení odlitků:

U odlitků lopatek došlo k nezaběhnutí tenkých odtokových hran. Nezaběhnutí bylo způsobeno nízkou lící teplotou. Lití se provádí z ruční pánve, ve které teplota kovu rychle klesá.

Staženina z nálitků zasahovala až do čepů. Pro gravitační lití nálitek pro doplňování taveniny směrem vzhůru není vhodný.

4. Odstředivé lití - nálitkování dolního čepu.

Pro odstředivé lití bylo použito stejné soustavy jako pro gravitační lití dle obr. 14. Byly odlity dvě soustavy - první při 300 ot./min., druhá při 450 ot./min. Použitý výrobní postup - II.

Vyhodnocení odlitků:

a/ u první soustavy / 300 ot./min. / došlo vlivem nevystředění formy k nezalítí náběžných hran u 2 lopatek. Na povrchu lopatek se vyskytují četné zadrobeniny. U lopatky č. 4 vznikly u spodního čepu trhliny - malé zaoblení přechodu. U lopatky č. 2 vznikla na odtokové hraně zavalenina neslitím předčasně ztuhlých proudů kovu. U obou lopatek zasahují staženiny z nálitku až do čepu - rentgenový snímek , příloha 3.

b/ u druhé soustavy / 450 ot./min. / se na povrchu odlitků lopatek vyskytují četné zadrobeniny a struskovitost dosahující poměrně velkých rozměrů. Povrch lopatek dále obsahuje drobné kuličky. Trhliny se na povrchu lopatek nevyskytují. Staženina z nálitku již do dolního čepu nezasahuje. Rentgenový snímek odlitku lopatky je v příloze 4.

5. Gravitační lití spodním vtokem.

Použitá soustava je na obr.15. Pro nálitkování kratšího čepu jsem použil stejného nálitku jako u předchozích soustav. Použitý výrobní postup - III.

Zhodnocení odlitků lopatek.

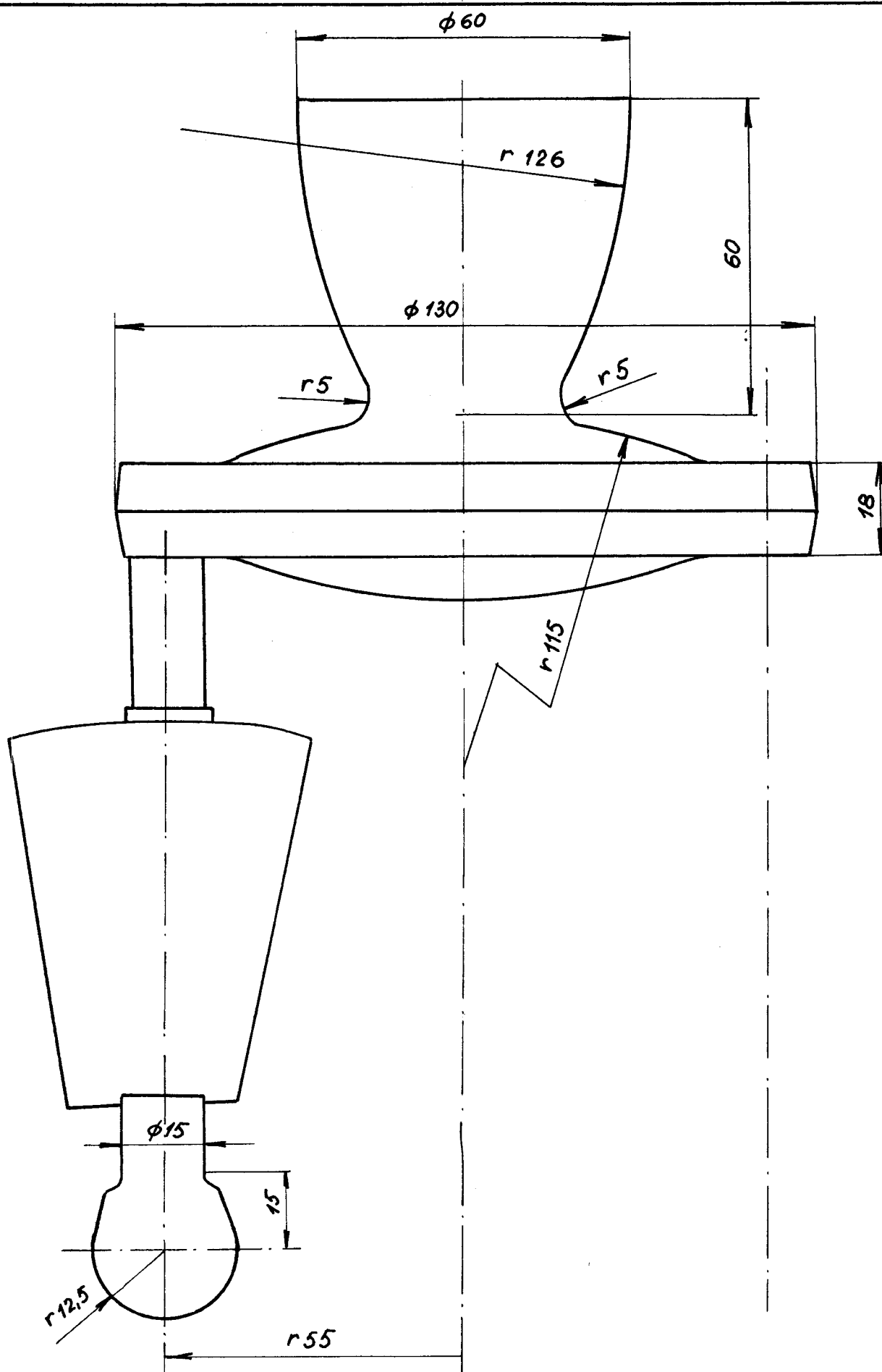
Odlitky lopatek jsou celkem bez závad. Kuličky ani zadrobeniny se na lopatkách nevyskytují. Pouze u lopatky č.3 se vyskytuje na konci odtokové hrany otevřená bublina. Staženiny se v čepech nevyskytují. Rentgenový snímek odlitků lopatek je v příloze 5.

4.3. Zhodnocení dosažených výsledků.

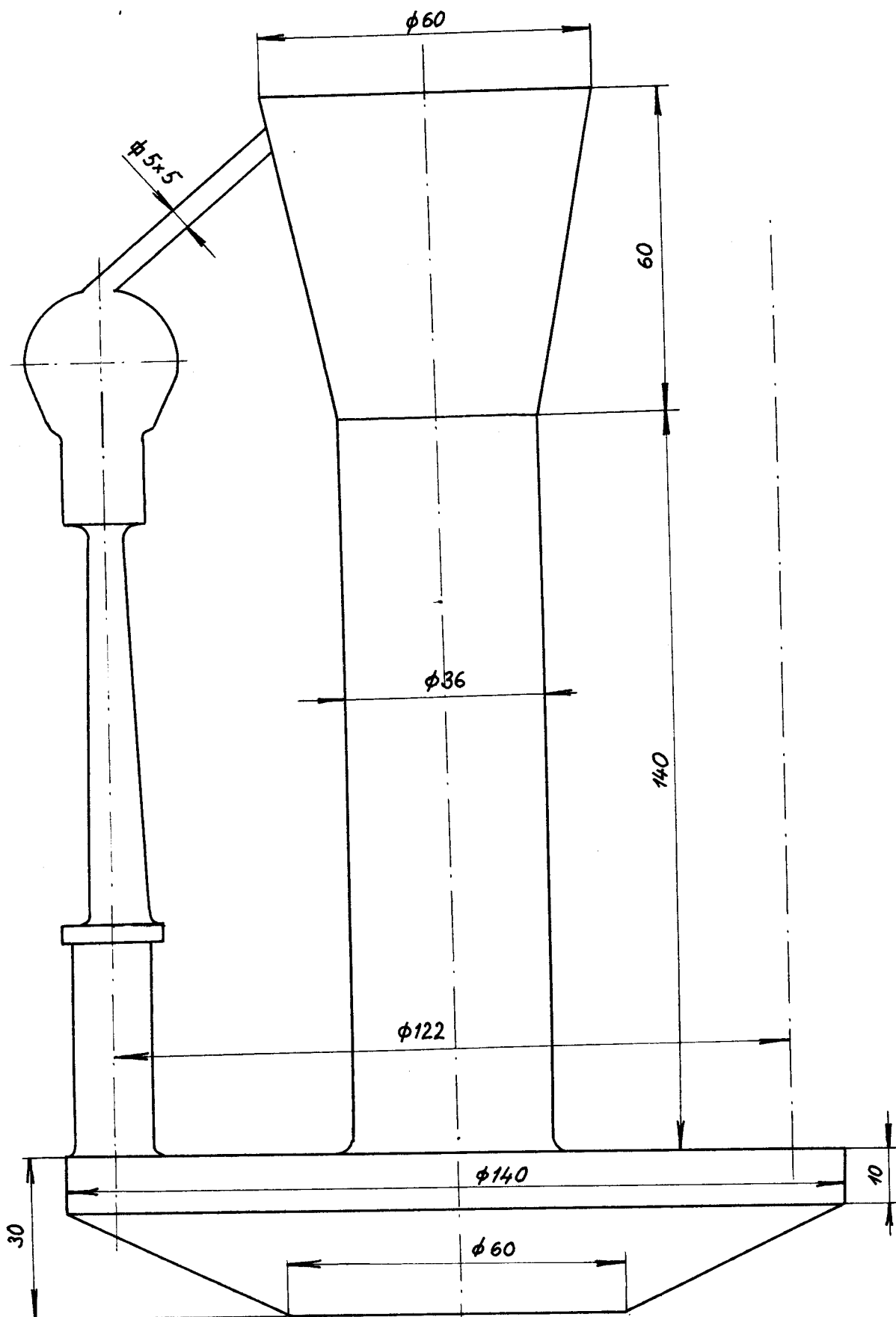
Nejlepší kvality odlitků jak z hlediska povrchových tak i skrytých vad bylo dosaženo u soustavy pro gravitační lití se spodním vtokem. Dobrých výsledků bylo dosaženo u soustavy dle obr.14 pro odstředivé lití při 450 ot/min. Povrch lopatek však nedosahuje kvality odlitků odlitých výše uvedeným způsobem.

Pro výrobu rozváděcích lopatek metodou přesného lití bude nejvýhodnější použít soustavy pro gravitační lití se spodním vtokem.

Navržená vtoková soustava pro gravitační lití se spodním vtokem je z vyzkoušených licích soustav nejvýhodnější. Je sice složitější než vtoková soustava pro odstředivé lití s horním vtokem, ale dává kvalitnější odlitky.



Obr. 14. Vtoková soustava pro odstředivé a gravitační lití.



Obr.15.Vtoková soustava pro gravitační lití.

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbínových lopatek	DP-STR.	59
		20.ČERVENCE 1963	
		Maceček Karel	
Výrobní postup II.			
odlitek: rozváděcí lopatka		váha odlitku: 0,170 kg	
modelní forma	BIA	teplota sušení formy	105°C
vosková směs	parafin 50% ceresin 50%	teplota žíhání	1050°C
lisovací teplota	75°C	dobu žíhání	2 hod.
lisovací tlak	dotlač.ručním lisem	teplota formy při lití	600°C
dob a lisování	10 min.	způsob lití	gravitačně odstředivě
způsob spojování částí modelů	elektrické pájedlo	váha vsázky	4 kg
vtoková soustava	3,4,5	materiál	AK 1
počet odlitků na model.celku	4	struskotvorné přís.	CaO
počet dílců modelu pro 1 provedení	2	tavit v peci	ACEC
obalová směs	etylsilikátová	teplota natavení	1560°C
způsob obalování	máčením	teplota licí	1630-1650°C
počet obalů	3	otáčky odstředivky	4/ 300 5/ 450
teplota suš.obalu	20°C	dobu rotace po odlití	- 0,5 min.
dobu sušení obalů min.hod.	I. 16 II. 10 III. 10	max.teplota odlitku při vytloukání	300°C
zásypový písek	Provodín KM	způsob čištění	obrousit otryskat
způsob formování	vibrováním	požadovaná kontrola odlitku	kontrola po vrchu,rentgen
formovací rám	výška průměr 280 220/5		
formovací směs	etylsilikátová	způsob odstranění nálitků a vtoků	anodomech.
množství form.směsi pro 1 formu	12 kg		
dobu strásání při formování	30 min.		
dobu tuhnutí formy	min.16 hod.		
způsoby tavení modelu	horký vzduch		
dobu sušení formy po vytavení	10 hod.		

VŠST LIBEREC DP-ST 138/63	Vývoj technologie výroby turbinových lopatek	DP - STR. 60
		20.ČERVENCE 1963
		Maceček Karel

Výrobní postup III.

odlitek: rozváděcí lopatka

váha odlitku: 0,170 kg

modelní forma	BLA	teplota sušení formy	105°C
vosková směs	parafin 50% ceresin 50%	teplota žíhání	1050°C
lisovací teplota	75°C	dobu žíhání	2 hod.
lisovací tlak	dotlač.ručním lisem	teplota formy při lití	600°C
dobu lisování	10 min.	způsob lití	gravitačně
způsob spojování částí modelů	elektrické pájedlo	váha vsázky	5 kg
vtoková soustava	6	materiál	AK 1
počet odlitků na model.celku	4	struskotvorné přísady	CaO
počet dílců modelu pro 1 provedení	2	tavit v peci	ACEC
obalová směs	etylsilikátová	teplota natavení	1560°C
způsob obalování	máčením	teplota lící	1630-1650°C
počet obalů	3	otáčky odstředivky	-
teplota suš.obalů	20°C	dobu rotace po odlití	-
dobu sušení obalů minim.hod.	I. II. III. 16 10 10	max.teplota odlitku při vytloukání	300°C
zásypový písek	Provodín KM	způsob čištění	obrousit otryskat
způsob formování	vibrováním	požadovaná kontrola odlitku	kontrola po- vrchu a rentg.
formovací rám	výška průměr 280 220/5		
formovací směs	etylsilikátová	způsob odstranění nálitků a vtoků	anodomech.
množství form. směsi pro 1 formu	12 kg		
dobu strásání při formování	0,5 hod.		
dobu tuhnutí formy	min.16 hod.		
způsob vytavení modelu	horký vzduch		
dobu sušení formy po vytavení	10 hod.		

5. Technické zhodnocení výrobního postupu.

Při navrhování výrobního postupu jsem vycházel ze zařízení slévárny přesného lití v I BS ZKG Brno. Vybavení této slévárny není na patřičné výši a proto i navržený výrobní postup neodpovídá moderním požadavkům, jež jsou kladeny na výrobu odlitků přesným litím.

Neekonomické je vyrábění voskových modelů gravitačním litím s dotlačováním ručním lisem. Vyřešení tohoto problému bude provedeno po zavedení lisostříku JENNY - PRESSEN.

Formování etylsilikátovou směsí se provádí z důvodu, že většina odlitků se lije odstředivě, kdy se požaduje pevná forma.

Vytłoukání odlitků se provádí ručně kladivem na vytłoukacím roštu. Odřezávání odlitků od vtoků se provádí anodomechanickou pilou, neboť není k dispozici gumovka. Tento způsob je zdlouhavý, především u drobných kusů, kdy se musí upínat každý kus zvlášť.

Tryskání odlitků křemičitým pískem je vhodné pro dosažení čistého povrchu odlitku, je však zdraví škodlivé.

Navržená vtoková soustava je z vyzkoušených soustav z hlediska kvality odlitků nejvýhodnější. Počet modelů možno zvýši ze čtyř na osm. Zaformování možno provádět zasypáním suchou výplňovou směsí s víčky z CT směsí.

5.2. Možnosti aplikace metody přesného lití na
výrobu turbínových lopatek.

Přesné lití součástí je ekonomické tehdy, jestliže celkové náklady na výrobu součástí odlitím jsou nižší než náklady při třískovém obrábění.

Použitím přesného odlitku se dosahuje:

- a/ úspor na materiálu
- b/ úspor na pracnosti
- c/ úspor na celkových nákladech

V ceně materiálu se projeví zvýšení, poněvadž litý materiál je dražší než válcovaný. K velkým úsporám na materiálu dochází u drahých vysoce legovaných slitin, např. u slitin pro výrobu turbínových lopatek.

Při výrobě lopatek turbin metodou přesného lití dochází ke značným úsporám v porovnání s výrobou tvářením nebo frézováním. V tabulce je podle sovětských pramenů / F.V. Akserov: Obrabotka žaropročnych splavov / uvedeno porovnání některých ukazatelů při výrobě litých a tvářených lopatek stejného typu, které ukazuje na přednosti litých lopatek.

Ukazatel	Metoda zhotovení lopatek	
	tvářené ze slitiny Ei-437 B	lité ze slitiny ŽS-6
Váha polotovaru/ v kg /	3,1	0,61
Pracnost/ruble/	33,87	13,17
Cena / ruble /	115,39	46,49
Počet operací mechanickým obráběním	61	24
Počet přípravků	69	24
Počet spec.nástrojů	113	46

Ekonomický rozbor výroby oběžných kol turbíny
PDH 16 N vyráběných v I BS ZKG.

Oběžné kolo turbíny PDH 16 N vyrobené litím vcelku z materiálu AKNC včetně režie1269,20 Kčs

Oběžné kolo turbíny PDH 16 N vyrobené třískovým obráběním z materiálu AKTN včetně režie

.....5150,00 Kčs

úspora3880,80 Kčs

Spotřeba materiálu:

oběžné kolo turbíny PDH 16 N vyrobené třískovým opracováním 28 kg

oběžné kolo PDH 16 N vyrobené litím vcelku....
..... 2,6 kg

úspora materiálu... 25,4 kg

Z výsledků lití oběžných turbinových kol je patrné, že lití je velmi výhodné oproti obrábění.

Srovnání nákladů na výrobu oběžné lopatky turbíny frézováním a přesným litím.

Pro porovnání obou způsobů výroby jsem použil podkladu pro výrobu lopatky oběžného kola turbíny, která se vyrábí frézováním v závodě I BS ZKG Velká Bíteš a metodou přesného lití v závodě I BS ZKG Brno.

Na obrázku 16 je vlevo lopatka litá, vpravo lopatka vyrobená frézováním.

Litím se vyrábí z materiálu Ei-437B/1 kg
...236,30 Kčs /.

Frézováním se vyrábí z materiálu AKRN / 1 kg ..
...52,46 Kčs/.

Ekonomický rozbor je proveden v následující tabulce.

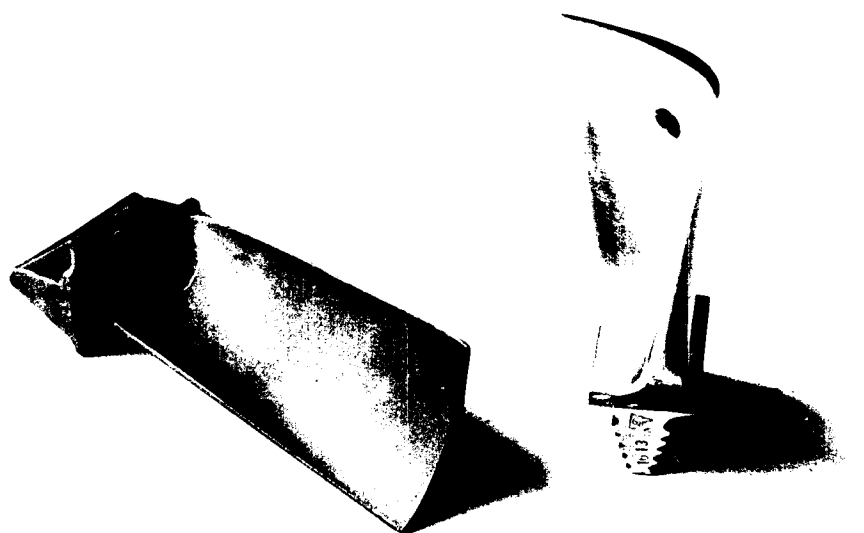
Ekonomický rozbor odlitku

Lopatka oběžného kola turbíny

Popis nákladů	Měrná jednotka	Třískové obrábění	Přesný odlitek
Materiál váha	kg	AKRN 1,70	AKNC 0,28
Cena	Kčs	89,25	47,26
Mzda za polotovar	Kčs		13,71
Režie za polotovar	Kčs		63,06
Odváděcí cena polotovaru	Kčs		124,03
Mzda za obrábění	Kčs	69,71	16,64
Režie za obrábění	Kčs	252,0	59,80
Výrobní náklady	Kčs	410,96	200,47
Úspora na výrobních nákladech	Kčs	210,49	

Úspora materiálu v korunách : Ů 41,96 Kčs

Z uvedených údajů je patrné, že výroba lopatek turbin metodou přesného lití je velmi rentabilní. Je proto vhodné u lopatek, na něž nejsou kladeny vysoké nároky na kvalitu, přecházet od frézování nebo tváření na výrobu přesným litím.



Obr.16.Litá a frézovaná oběžná lopatka turbíny.

Seznam použité literatury:

- J.Doškář: Přesné.lití do keramických forem
R.Brabenec: Příručka pro slevače
A.I.Šklennik: Litje po vyplavljajemym modeljam
Ozerov : Litje po vyplavljajemym modeljam
A.G.Spaskij: Základy slévárenství
J.Příbyl: Tuhnutí a nalitkování odlitků
F.Píšek: Konstrukce odlitků
F.Píšek: Nauka o materiálu
A.L.German: Technologija proizvodstva malých i
srednich gidroturbin
M.Druckmüller: Technologie a údržba vodních turbin
Vodseďálek-Vystyd: Vlastnosti a použití žárupevných
ocelí a slitin
S.S.Feldmann: Přesné lití
Slévárenství č.4,1960

Obsah.

	strana
Úvod	1
1. Technologické postupy při výrobě odlitků metodou přesného lití	3
1.1. Výroba forem	3
1.2. Modelové hmoty a výroba modelů	5
1.3. Sestavování modelů	7
1.4. Výroba keramických forem	8
1.5. Tavení materiálů	12
1.6. Lití taveniny do forem	13
1.7. Uvolňování odlitků z forem a čištění	16
1.8. Oddělování odlitků od vtokové soustavy	16
1.9. Kontrola výrobního postupu	17
1.10. Kontrola odlitků	17
2. Výroba turbínových lopatek	23
2.1. Výroba lopatek tepelných turbin	25
2.2. Slitiny pro výrobu lopatek tepelných turbin	26
2.3. Výroba lopatek vodních turbin	28
2.4. Tepelné zpracování odlitků lopatek turbin	30
2.5. Konstrukce a provedení vtokových soustav pro odlévání turbínových lopatek	31
2.5.1. Lící soustavy pro odlévání lopatek	32
2.6. Zkoušení lopatek	38
2.6.1. Kontrola mechanických vlastností	38
2.6.2. Kontrola tvrdosti	39
2.6.3. Kontrola žárupevnosti	39
3. Sledování kvality odlitků vyráběných v I BS ZKG	41
4. Technologický postup výroby a provedení odlitků lopatek	48

	strana
4.1. Výrobní postup pro odlévání lopatek	48
4.2. Postup provádění zkoušek	52
Výrobní postup I	54
4.3. Zhodnocení dosažených výsledků	58
Výrobní postup II	59
Výrobní postup III	60
5. Technické zhodnocení výrobního postupu	61
5.2. Možnosti aplikace metody přesného lití na výrobu turbinových lopatek	62
Seznam použité literatury	66
Obsah	67

Maceček Karel