

Tavení skla kdysi, dnes a v budoucnu*

MILOTA FANDERLIK

Sklářská výroba a vůbec umění taviti sklo spočívá na dovednosti člověka používatí ohně. Jak důležitým se stal oheň ve vývoji civilisace a kultury člověka, vidíme ze všech průmyslových odvětví, počínaje hutěmi a konče naším sklem. Vysvítá to z celého vývoje kultury a techniky lidstva; a že již ve starověku byl oheň považován za jeden z nejdůležitějších živlů, jichž člověk používá, vyplývá z báje o Prometheovi, jenž byl tak přísně trestán za to, že odcizil oheň bohům a přinesl ho lidem.

Pokud člověk neznal využití ohně, nemohl ani vyráběti sklo. Používal proto skel, která mu dala sama příroda: byla to přírodní skla jako obsidiány (tektonického původu) a vltavíny (meteorického původu), vedle nahodilých vzniků fulguritů (bleskových kamenů). Ale teprve používání ohně umožnilo prvé pokusy o výrobu skla.

Sledujeme-li během tisíciletí vývoj tavení skla, pozorujeme, že jde všeobecně o dva hlavní požadavky; ty se střídavě doplňují, střídavě se klade větší důraz na jeden či druhý.

Prvým je dosažení co nejvyšších teplot potřebných k utavení stále kvalitnějších a odolnějších skel.

Druhým snaha po stále lepším využití tepla, aby tavení bylo ekonomické a levné. Dnes tomu říkáme hospodárné využití kalorické hodnoty paliva.

V počátcích tavení skla převládal přirozeně první požadavek, jenž tehdy znamenal možnost vůbec sklo utaviti, bez ohledu na jeho cenu. Nevíme přesně, kdy začíná sklářská výroba. Nejnovější nálezy a badání prokázaly pouze, že původ sklářství třeba hledati v Malé Asii (Mezopotamii), odkud přešla výroba do Egypta. Tam se brzy rozšířila a dosáhla vysokého stupně dokonalosti, tak že se nám dochovaly z té doby četné památky.

Tavení skla v prvé historické době bylo dosti primitivní. Za palivo sloužilo dřevo. Sklo se tavilo na dvakrát v plochých mísovitých hliněných pánvích. Při prvé tavení šlo vlastně pouze o slinutí hmoty, při čemž proběhly pouze hlavní reakce tvorby silikátů. Po ochlazení byla hmota drcena a znovu tavena v obdobných pánvích účinkem přímého plamene dřeva. Z nalezených památek můžeme pouze souditi na konstrukci pecí tehdejší doby. Šlo o jednoduché pícky s přímým topením dřevem a odtahem kouřových plynů nahoře. Dosahovalo se pouze nízkých teplot pod 1000°C. Proto byla i tehdejší, relativně velmi měkká, skla za takových teplot velmi viskózní a nedovolovala jiných způsobů zpracování a tváření než tlačení (modelování) a vinutí vláken na pís-

* Prednesené 10. novembra 1949 na členskej schôdzke Čs. keramickej a sklárskej spoločnosti Bratislava.

kovou nebo hliněnou formu (jádro), která se pak po vychlazení výrobku vyplavila vodou, čímž vznikl dutý výrobek. Později bylo zavedeno i lisování jednoduchých plochých tvarů, jako misek a talířů. Skla tehdejší doby nebyla průhledná (ani křišťálová bezbarvá), neboť skla sloužila za nápodobeninu kamenů, kamejí a pod.

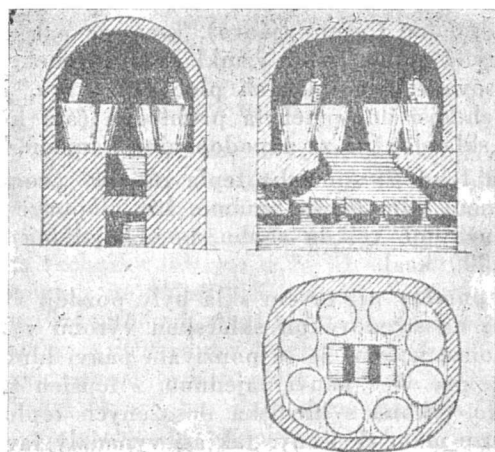
Jaká byla tehdejší spotřeba tepla na celý proces dvojnásobného tavení, není nám přesně známo. Lze ji pouze přibližně odhadnout a neučiníme velkou chybu, počítáme-li na 1 kg skla asi 40.000 až 50.000 kcal.

Obdobné poměry při tavení skla byly později i v říši římské a přešly pak i na středověkou sklářskou výrobu v Evropě. Rozdíl spočíval pouze v tom, že se používalo pánví hlubších, pece se stavěly větší a pro více pánví najednou, z lepších žárovzdorných hlin, ale co do výkonu s hlediska dosažených teplot a spotřeby tepla byly pouze málo zlepšeny. Jak asi vypadaly tavicí pece pánvové v 15. století znázorňuje model takové pece na obr. č. 1.

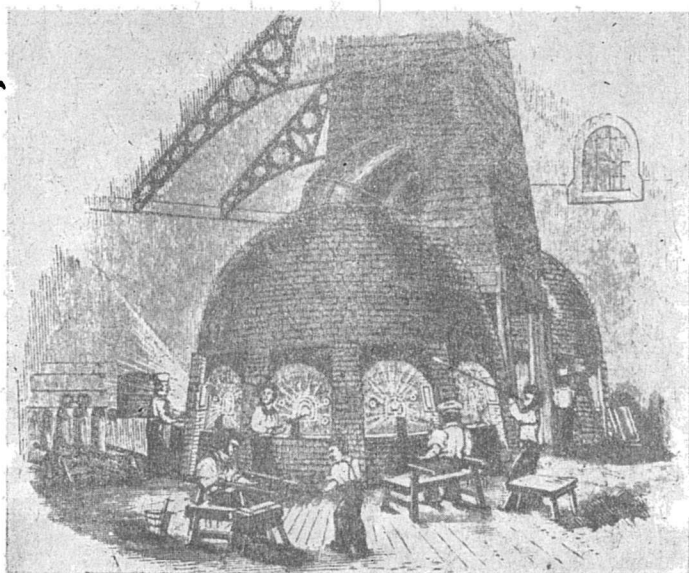


Obrázek č. 1. Model sklářské tavicí pece z 15. století.

Lepší konstrukcí pece a lepším vedením plamene dosahovalo se již poněkud vyšších teplot a lepšího využití tepla. Sklo se již běžně pracovalo foukáním na sklářské píšťale, již bylo poprvé použito k výrobě skla již mezi lety 300 a 20 před Kr. v Egyptě. Ale spotřeba tepla na utavení 1 kg skla byla ještě velká. Jinou ukázkou pecí ze 14. a 15. století jsou obrázky č. 2 a 3.



Obraz Řezy tavicími pecemi středověkými odle Dr. Kotšmida).



Obraz čís. 3. Anglická tavicí sklářská pec z 15.—16. století.

Sledujeme-li technický pokrok v tavení skla, lze zaznamenati první důležitý mezník v roce 1615, kdy bylo poprvé nahraženo dříve používané dřevo uhlím. Stalo se tak v Anglii na nátlak námořniců, které potřebovalo dříví na stavbu lodí. Brzy nato zavedl Mansell (1635) použití krytých pánví (t. zv. kukaní). Je dobře si uvědomiti, že teprve v roce 1755 začíná se tavit sklo najednou, bez předchozího fritování. Ale stále se topilo v pecích

přímo, ať již dřevem, nebo uhlím. Teprve v roce 1850 zavádí Fiketscher použití generátorového plynu z hnědého uhlí, čímž se otevírá cesta bratřím Siemensům a našemu Panuškoví, aby zavedli i pro tavení skla regeneraci tepla. A brzy nato, roku 1867 zavádí Friedrich Siemens první nepřetržitě pracující regenerativní vanovou pec.

Tím byly dány předpoklady pro nedávno minulý stav tavení skla v pánvích a ve vanách denních i nepřetržitě pracujících. Po zavedení regenerace následuje pak i postupné používání pecí rekuperativních, jejichž rozvoj byl brzděn hlavně nedostatkem vhodného plynotěsného, dobře teplo vodícího žárovzdorného materiálu pro stavbu rekuperátorů. Tato otázka zůstala dlouho nedořešena, až teprve zavedení moderních hmot a nových žárovzdorných legovaných ocílí umožnilo skutečně dobré využití rekupreativního systému vytápění tavicích pecí.

Zavedením regenerace tepla klesla specifická spotřeba tepla na utavení 1 kg skloviny velmi podstatně. Ale dnešní doba se již ani s dosaženými výsledky nemůže spokojit. Jde o další úspory kalorií vzhledem k těžším podmínkám hospodářským a vzhledem k tomu, že se sklo stává čím dále tím více předmětem všeobecné lidové potřeby a hmotou technicky důležitou, která musí být ve výrobě levná. Proto směřuje dále vývoj směrem k zvýšení tavicího výkonu van, směrem snížení specifické spotřeby tepla na tavení skla a směrem dosažení vyšších tavicích teplot za účelem výroby speciálních vysoce kvalitních sklovin.

Po tomto stručném přehledu, končícím prvou světovou válkou, si poněkud blíže všimněme tepelných poměrů při tavení skla v dobách minulých, právě minulých a podrobněji si uveďme současný stav tavení skla i toho, co nás může očekávat ve vývoji v blízké budoucnosti.

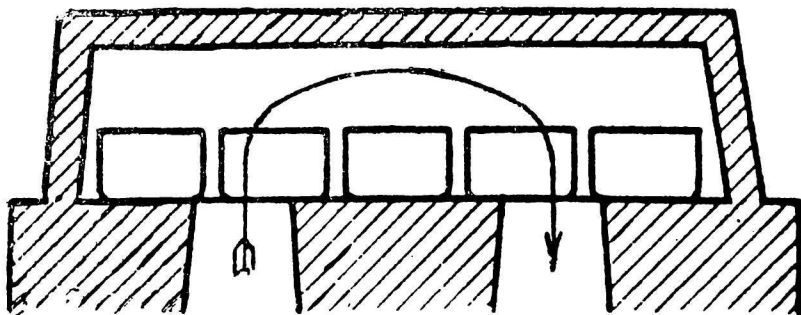
Staré egyptské a římské pece potřebovaly k utavení 1 kg skla odhadem asi 40.000—50.000 kcal. Pece ze 14—16 století, vytápěné přímo dřevem, vyžadovaly asi 25.000—28.000 kcal k tavení 1 kg skloviny. Zavedením regenerativního vytápění byla snížena spotřeba tepla na 10.000—15.000 kcal na 1 kg utaveného skla u pecí pánvových a na cca 7.000—9.000 kcal u pecí vanových s nepřetržitým provozem.

Abychom si uvědomili, které další změny a zlepšení mohou vést ke zvyšování výkonů vanových pecí a ke snížení spotřeby specifického tepla tavicího, uveďme si hlavní principy konstrukce sklářských tavicích pecí.

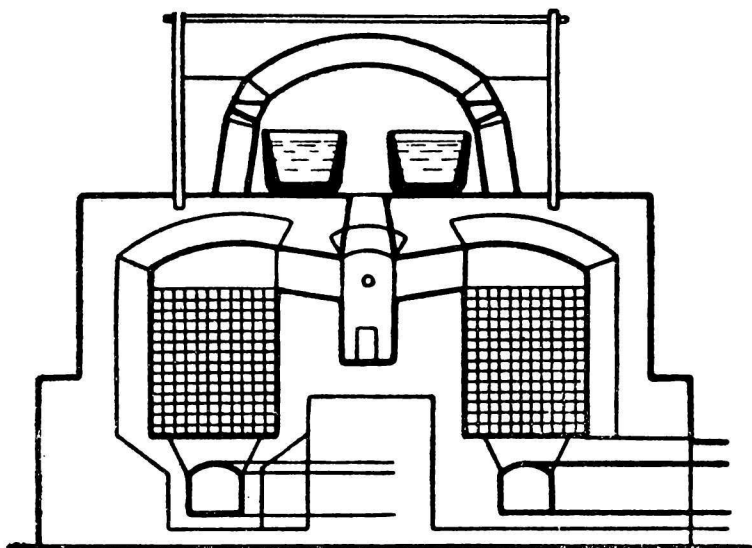
1. Pece pánvové.

Regenerativní pánvové pece (obr. č. 4.) jsou v principu stavěny tak, že spodní část pece tvoří regenerativní komory, nad nimi je vlastní horní pec s pánvemi. Docílí se tím toho, že je podlaha pece horká. Vedení plamene může být dvojitý: Buď je veden pla-

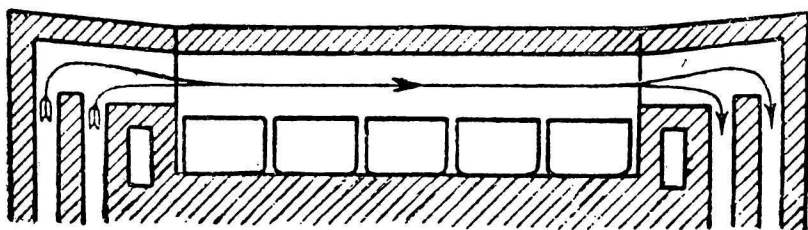
men z podlahy (pipnami) proti klenbě pece a spalné plyny se odtažují druhou pipnou v podlaze (pece s dolním plamenem — viz schema č. 5). To je u nás nejbežnější konstrukce dnešních pán-



Obrázek č. 4. Řez — — — — — rativní pán — — — sklářskou pecí.



Obrázek č. 5. Schema vedení dolního plamene v pánvové tavicí peci.



Obrázek č. 6. Schema vedení horního plamene v pánvové tavicí peci

řívových pecí. Nebo jsou plameny vedeny napříč pecí nad pánvemi (pece s horním plamenem — schema č. 6), vytápění běžné na př. při tavení zrcadlového skla v pánvích. Tento způsob tavení bývá někdy uspořádán jako mnohoplamenná pec (system Knoblauch), které bývají rozděleny v sekce, nezávisle na sobě vytápěné a umožňují tavení v jedné peci různých druhů skel (tvrdých i měkkých).

U pánvových pecí nelze zvyšovati tavicí výkon tak, jako se děje u van. Tavicí výkon je zde dán obsahem pánví a dobou tavení. Aby se docílilo větších tavicích výkonů na pecích pánvových, bude třeba celou konstrukci pánvových pecí ze základů přepřacovati tak, aby se dosáhlo nepřetržité práce na všech pánvích. Je to možné pouze kombinací pánvové pece s vanou. I zde tedy se sahá k vanovému principu, aby se zvýšil tavicí výkon. Je zcela přirozené, že u běžných pánvových pecí jest ztráta tepla způsobována značně pecí samou, která je s ohledem na množství taveného skla relativně velká. Ztráty tepla nastávají sáláním stěn, klenby, akumulací tepla při přetržitém chodu pece (vedle ztrát v komorách, komínu atd.). Tepelné ztráty, vztažené na 1 kg skla, jsou tím menší, čím větší je pec (vícepánvová), čím menší je její povrch, čím lépe je prostor pece využit taveným sklem. I tvar pánvové pece má vliv na její tepelnou účinnost. Proto se v poslední době v mnoha zemích přechází k pecím řadovým, kde je prostor pecí lépe využit na tavené sklo a kde i řadové uspořádání umožňuje racionelní a jednosměrnou organizaci provozu.

Druhou nevýhodou pánvových pecí jest změna teploty pece během tavení, číření a zpracování skloviny. Trpí tím žárovzdorný materiál, zvyšuje se, zvlášť během práce a následujícího vyhřívání pece značně spotřeba tepla, poněvadž během práce hoří pec obvykle na konstant, t. j. bez regenerace tepla a komory dosti vy-chladlou.

Větší pece mají přirozeně i větší tavicí výkon za 24 hodin. Ale i relativní výkon tavicí, vztažený na jednotku otápěné plochy pece stoupá s rostoucím rozměrem pece. Jsou tedy větší pece (na více pánví) za všech okolností tepelně výhodnější i výkonější, než pece malé.

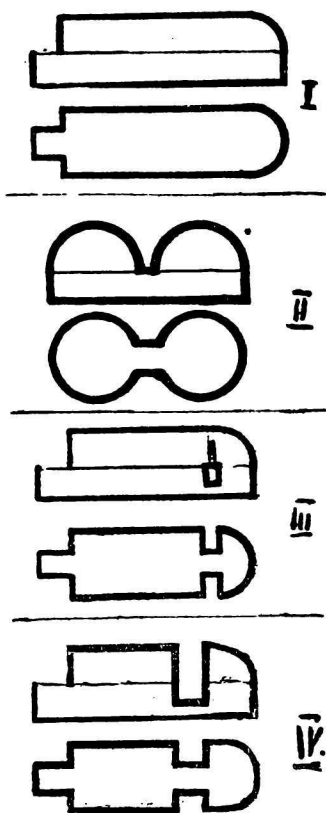
S tepelně technického hlediska nás zajímá zvláště specifická spotřeba tepla, t. j. množství tepla spotřebovaného na utavení 1 kg skla. S rostoucí velikostí tato spotřeba klesá. U zcela malých pecí činila tato spotřeba tepla v roce 1926 cca 18.000 kcal na 1 kg skla; u velkých pecí rozměru 20 m² otápěné plochy činila pouze cca 10.000 kcal.

2. Nepřetržitě pracující pece vanové.

Tam, kde jde o veliká množství strojně zpracovaného skla užitkového a technického, je otázka hospodárnosti pece zvláště důležitá. Proto se již výlučně používá nepřetržitě pracujících pecí vanových, které jsou zvláště výhodné pro automatickou výrobu a to nejen proto, že poskytují nepřetržitě sklovinu pro stroje, ale

i s hlediska lepší tepelné ekonomie a vysokého tavicího výkonu. Denní vany nespádají pro tento způsob výroby v úvahu a blíží se téměř pecím pánvovým, až na poněkud lepší využití prostoru. Jejich význam však dnes pomalu mizí a lze předpokládat, že denní vany postupně vymizí ze sklářské výroby.

U nepřetržitě pracujících vanových pecí lze rozeznávat s hlediska vytápění i s hlediska vývojového dva typy: Vany regenerativně vytápěné a vany rekuperativně vytápěné. Celkem se deli nepřetržitě pracující vanové pece na tyto skupiny (obr. čís. 7.) podle tvaru:



Obraz čís. 7. Schema rozdělení vanových pecí podle tvaru.

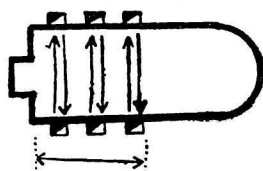
I. Jednoprostorové vany (plovákové) s jednou společnou klenbou.

II. Dvoupřestorové kruhové vany průtokové se dvěma klenbami (typ pece Malyševovy).

III. Dvoupřestorové průtokové vany se společnou klenbou (dnes nejběžnější).

IV. Dvoupřestorové průtokové vany se dvěma klenbami.

Třídění regenerativních van
podle plamene:



A. S příčnými plameny.



B. S U-plamenem



C. S podélnými plame.

otápěná
plocha

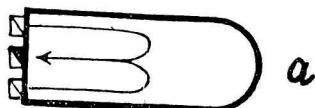
Obraz čís. 8. Schema třídění regenerativních vanových pecí podle vedení plamene.

Podle vedení plamene se dělí regenerativní vany takto (or. č. 8):

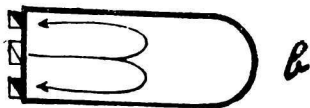
A. S příčnými plameny.

B. S U-plamenem (podkovovitý plamen).

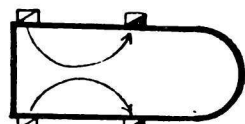
C. S podélnými plameny.



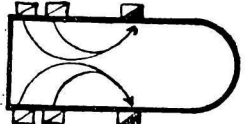
a



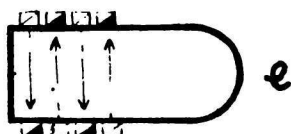
b



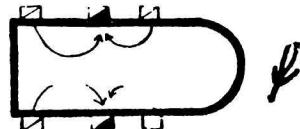
c



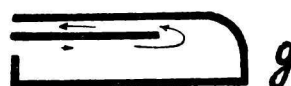
d



e



f



g

☑ hořák
☑ odtaň

Obraz čís. 9. Schema třídění rekuperativních vanových pecí podle vedení plamene.

Rekuperativní vany se dělí podle vedení plamene (obr. č. 9.) takto:

- a. Se dvěma U-plameny směřujícími dovnitř.
- b. Se dvěma U-plameny směřujícími ven.
- c. Se dvěma podélnými plameny (dvouhořákové).
- d. Se dvěma podélnými plameny (čtyřhořákové).
- e. S příčnými plameny (sudý počet plamenů).
- f. S podélnými protichůdnými plameny.
- g. S dvojitou klenbou (system AMCO, IMAG a j.).

Není účelem dnešní přednášky zabývat se podrobně tvarem a konstrukcí vanových pecí pro různé účely výrobní. Budiž pouze uvedeno, že se dnes používá ze všech načrtnutých typů pecí pouze těchto:

I. Jednoprostorových plovákových pecí s jedinou společnou klenbou (velký rozměr) pro strojní výrobu okenního skla těžním.

III. Dvouposchodových pecí vanových s jednou společnou klenbou (průtokové vany) pro výrobu lisovaného, dutého a těžného (trubky) skla pomocí automatických strojů ssacích nebo feedrovaných a tažných (Danner atd.).

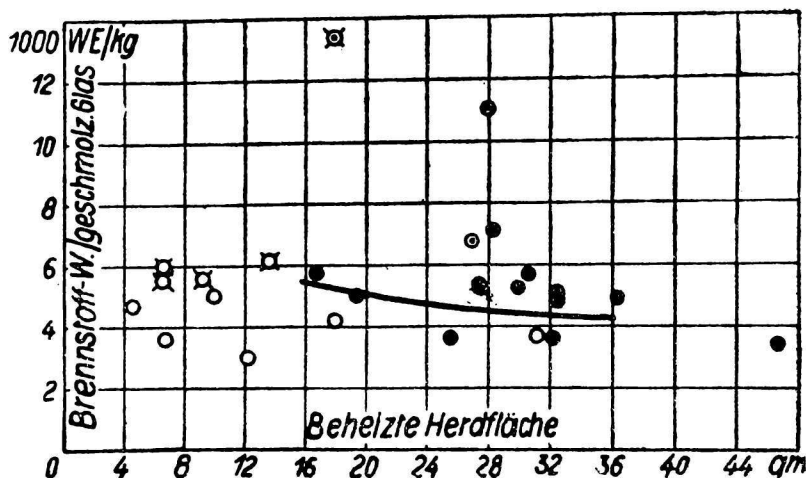
Rozhodující faktory pro zvyšování výkonu van a snižování spotřeby tepla jsou:

1. Složení tavené skloviny.
2. Výška teploty ve vaně.
3. Hloubka skloviny, rozměry a tvar vany.
4. Způsob plnění vsázky.
5. Způsob vytápění vany.

První faktor — složení tavné skloviny, nespadá do tematiku dnešní přednášky.

Druhý faktor — teplota — má značný význam. Staré vanové pece do roku 1927 měly tavicí výkony na dnešní poměry velmi malé. Dr. Maurach v knize Glas-schmelz Wannenöfen uvádí graficky tehdejší výkony van v závislosti na velikosti vytápěné plochy. Při velikosti otápečné plochy kolem 20m^2 se utavilo na 1m^2 za 24 hodin pouze 0,5 tun skla, což je na dnešní poměry velmi málo. Spotřebu tepla uvádí tehdejší Maurachův diagram (obraz čís. 10) 4.000—6.000 kcal na 1 kg skla. Je to sice hodnota již značně nižší proti pecím pánvovým, ale proti moderním průtokovým vanám je značně vysoká.

S hlediska přechodu tepla z plamene do skloviny je důležitý teplotní gradient mezi plamenem a sklem. Použitelná teplota plamene jest omezena možností předehtřívání vzduchu resp. i plynu a odolností žárovzdorného materiálu, ze kterého je pec a hlavně její klenba zhotovena. Rozvoj moderních vysoce žárovzdorných hmot (zvláště v U. S. A. a v SSSR) umožnil vedení vany za vyšší teploty. Zvláště pak v posledních letech zavádění tak zvané zavěšené klenby, která může být zhotovena ze superžárovzdorných hmot, umožnil použití značně vysokých tavicích teplot. Z těchto



Obráz čís. 10. Závislost specifické spotřeby tepla na 1 kg utaveného skla na velikosti otápěné plochy (diagram Dr. Mauracha z knihy Glas-schmelz Wannenöfen).

vysoce žárovzdorných hmot třeba jmenovat jako prvý sillimanit a pak prvý za žáru litý materiál corhart (jméno pochází ze zkratky CORning-HARTford). Další pokrok nasial však teprve zavedením super-žárovzdorných hmot. Jsou to corhart ZED (korund s malým podílem zirkonu), jenž má zvýšenou odolnost k roztavenému sklu, dále corhart ZAC (směs krystalů korundu a zirkonu, kde zirkon působí jako regulátor velikosti při krystalisaci), jenž jest ještě odolnější k účinku roztaveného skla; Monofrax H (beta korund), monofrax K (alfa korund, při němž jest dosaženo krystalické modifikace přísadou chromitu), monofrax E (směs alfa a beta korundu), mullfrax (obdoba corhartu).

V poslední době přispěla ke zvýšení výkonu vanových pecí i konstrukce klenby. Moderní vany se staví s poněkud vyšší klenbou než dříve, aby byl zvětšen spalovací prostor a aby na jednotku délky vany mohlo dokonale shořeti větší množství plynu (paliva), neboť hlavní podíl tepla získává hladina skloviny, přímým sáláním svítivého plamene a nikoliv sáláním klenby, která přispívá pouze nepatrně. Rovněž regenerační komory se staví dnes větší a hustěji vyplněné mřížáky (větší počet menších průchodů tak, aby jejich světlý průřez v celku neklesl, ale aby styčná plocha mřížáků s plynu byla co největší). Tím se podstatně zvýšil účinek regenerace tepla.

Důležitým konstruktivním prvkem jest tak zvaná zavěšená klenba, o níž již byla zmínka. Umožňuje použití vysoce žárovzdorných hmot místo siliky (dinasu), neboť jednotlivé tvárnice nejsou zatíženy celou váhou klenby.

Všechny tyto okolnosti umožnily zvýšení tavicích teplot nad 1500°C (až i na 1600°C), což působí příznivě na zvýšení tavicího

výkonu van a na snížení spotřeby paliva na 1 kg utaveného skla. Dnešní průtokové vany se silikovou klenbou dosahují tavicích výkonů 1,2—1,4 tuny skla za 24 hod. na 1 m² otápné plochy. Spotřeba tepla klesla až na 2.500 kcal na 1 kg skla, v některých extrémních případech dokonce až i na pouhých 2000 kcal. Udávají se i tavicí výkony (v U. S. A.) až 2,5 tun skla na m² za 24 hodiny.

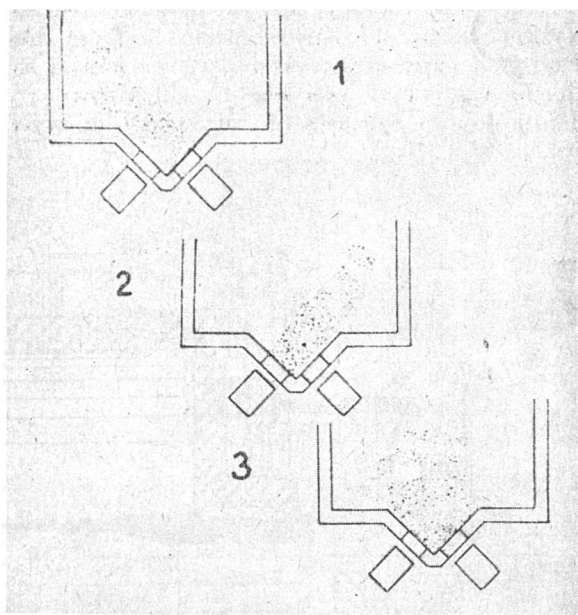
Hloubka skloviny ve vaně není dosud jednoznačně řešena a kolísá i podle velikosti vany. Velká hloubka skloviny působí jako balast. Znamená ovšem i snížení teploty dna a tím i menší tepelné ztráty dnem. Malá hloubka skloviny naproti tomu dovozuje rychlejší prohřívání skla, má však za následek větší tepelné ztráty dnem, větší korosi žárovzdorného materiálu dna vany a někdy i zhoršení homogenity skloviny. Volba hloubky skloviny závisí i na druhu tavené skloviny (křišťál, barevné sklo atd.). V posledních letech se ustaluje celkem střední hloubka skloviny, která činí průměrně 80—90 cm.

Značný vliv na výkonost van má způsob plnění vsázky. S hlediska stejnoměrnosti skloviny se des již všeobecně přechází k současnému plnění vsázky se střepy drcenými na rozměr 10—15 mm, které pramé a suché se mísí společně se vsázkou v konstantním váhovém poměru a společně se vsázkou plní do vany. Aby bylo plnění pravidelné a ve stejnoměrně silné vrstvě, postupující po povrchu skloviny, jsou dnes používána různá automatická zařízení plnicí — plniče vsázky. Již před válkou se používalo v některých našich tabulárnách v Čechách šnekového plnění na „kazatelnu“, t. j. na žárovzdorné podium, na němž zůstávala hromada vsázky, otavovala se a sékala do skloviny. Hromada současně chránila šnekové zařízení před žárem pece. Ale dnes již není toto zařízení neúčinnější. Vyvinuly se dva hlavní principy vsázkových plniců:

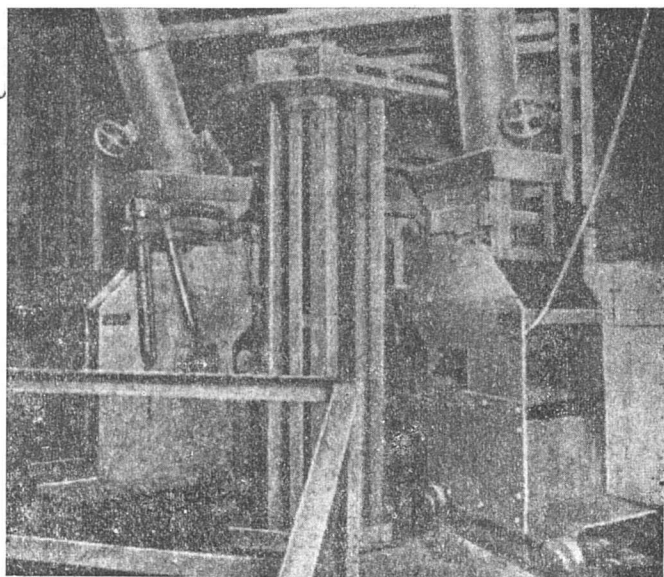
1. System Hartford: Jeho funkční princip je znázorněn na obr. čís. 11. Plnicí zařízení je tvaru pravoúhleho trojúhelníkového výčnělku vany. Po každé s obou stran stojí jeden plnič. Osy plniců stojí tedy na sobě kolmo a jsou stočeny o 45° proti ose pece. Zařízení umožňuje:

- a) Při funkci pouze levého plniče pohybuje se vrstva vsázky do pravé poloviny vany,
- b) při funkci pouze pravého plniče se pohybuje vsázka do levé poloviny vany,
- c) při současně funkci obou plniců se pohybuje vrstva vsázky středem vany.

Střídavá funkce obou plniců umožňuje při měnění směru plamene u regenerativních pecí s příčným plamenem, aby se posunovala vsázka vždy tam, kde je nejvyšší teplota plamene. Konstrukce plniče je zřejmá z obrázku čís. 12, který znázorňuje pohled na jeden z plniců. Hartfordský plnič bývá sprážen se zaří-



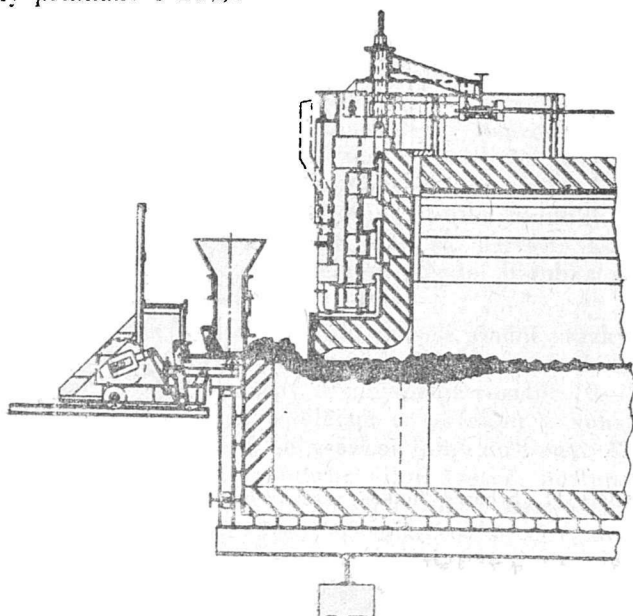
Obraz čís 11. Schema funkce ázkového plniče system Hartford.



Obraz čís. 12. Vsázkový plnič Hartford.

zením, které samočinně reguluje měnění plamene a se zařízením na kontrolu výšky hladiny skloviny ve vaně, čímž se dosáhne automatického udržání konstantní výšky hladiny a omezí značně koroze žárovzdorného zdiva ve výši hladiny skloviny.

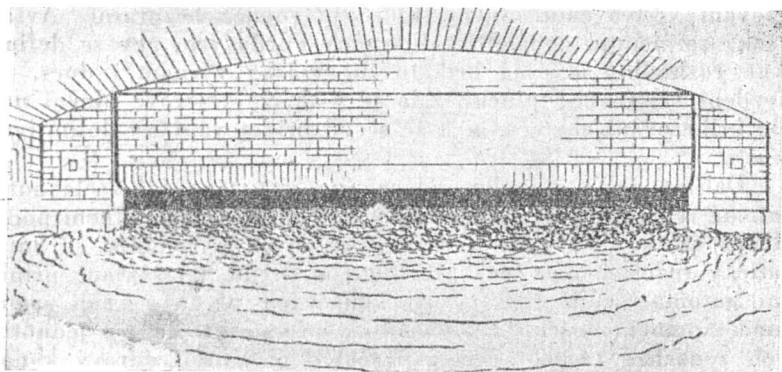
Zavedením tohoto způsobu plnění vsázky se zvýší tavící výkon vany přibližně o 20%.



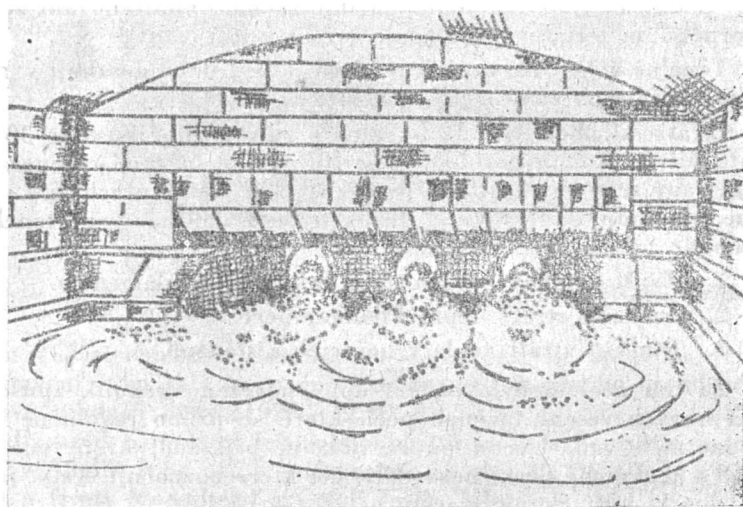
Obrázek 13. - Schema vrstevného žákového plniče systému Frazier Simplex.

2. Vrstvový plnič Frazier Simplex. Schema plniče je znázorněno na obrázku čís. 13. Plnič sune automaticky do vany v celé (nebo v téměř celé) šířce vany stejnouměrnou cca 8—10 cm silnou vrstvu vsázky, která postupuje na povrchu skloviny, vystavena přímému žáru plamene a postupně se protavuje. Vsázka při vstupu do prostoru mezi plameny (kde je tah) je již na povrchu částečně sintrována a proto nedochází k prášení do komor a ke ztrátě alkalií ze skloviny. Obrázek čís. 14 znázorňuje pohled do zadní části pece na šterbinu, tvořenou zavěšenou, co do výšky regulovatelnou stěnou, kterou prochází vrstva vsázky na povrch skloviny, kde se protavuje. Posunovací zařízení, normálně deskové, může být nahrazeno řadou šneků, které obdobně dopravují vrstvu vsázky na hladinu skloviny, jak znázorňuje náčrt na obrázku 15.

Obdobným, ale poněkud zlepšeným způsobem, jest sovětský systém vrstevného plnění vsázky, zvaný systémem TZ. I zde se provádí plnění vsázky téměř v celé šířce vany šterbinou. Posun se děje pomocí pístovitě posuvného stolu. Konstrukce je velmi jednoduchá a účelná, při tom pevná a není choulostivá na poškození.



Obraz čís. 14. Pohled zevnitř vany na šterbinu, již vstupuje vsázka do vany.
System Frazier Simplex.



Obraz čís. 15. Pohled zevnitř vany na vrstvý vsázkový plně se třetí
šneky systemu Frazier Simplex.

Všechny zkušenosti ukázaly, že zavedením vrstvého plnění vsázky se zvyšuje výkon vany o 20—30% za současného šetření žárovzdorného zdiva (stěn, klenby) vany samé a vyzdívky regeneračních komor.

Vedle nových způsobů plnění sypké vsázky byly zkoušeny různé způsoby briketování sklářské vsázky za přísady drcených střepů. V Německu se zkoušely brikety cihlového tvaru, v U. S. A., (Ford) brikety vejčité. Otázka není dosud definitivně rozřešena. Jistě je, že dnes v U. S. A. se vsázka nebriketuje: ustoupilo bri-

ketování vrstvomému plnění, které je rovněž bezprašné. Avšak otázka se sleduje nadále ve sklárnách Fordových, aby se definitivně rozhodlo, zda má briketování vsázky význam i dnes, po zavedení vrstvomého plnění. Zdá se však, že vrstvomé plnění učinilo briketování zbytečným a že se od briketování asi definitivně upustí.

Dalším důležitým zhospodárněním jest zavedení zcela automatické regulace van. Automaticky se reguluje nejen plnění podle odběru skloviny, ale na základě spřažených pyrometrů se automaticky reguluje množství přiváděného plynu, na základě připojení automatických analyzátorů kouřových plynů se řídí samostatně i poměr vzruchu a plynu, tlak ve vaně, teplota v jednotlivých zonách (tavicí, čerící, pracovní prostor, feedrový kanál, feeder), automaticky se reguluje na základě teplot v komorách měnění. Automatizace vany vede především ke zlepšení stejnoměrnosti skloviny a v důsledku toho i ke snížení zmetků při výrobě na automatických strojích, šetří se palivem a tím se i zmenšuje specifická spotřeba tepla, snižuje se dále opotřebování žárovzdorného materiálu (prodlužuje se životnost vany).

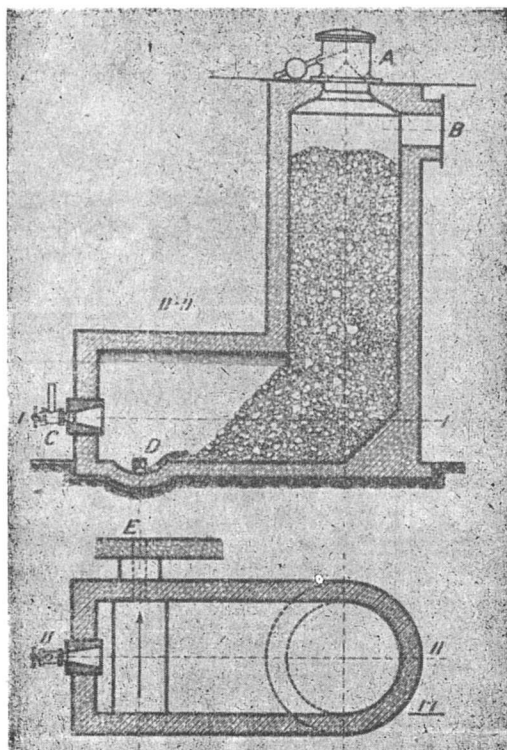
Tepelné ztráty na vanách moderní konstrukce dosahují v jednotlivých částech vany těchto hodnot:

Ztráta klenbou cca 12 %; ztráta zdívmi hořáků cca 30 %; ztráta zdívmi komor cca 10 %; cca 40 % tepla se vrací regenerací; dnem vany se ztrácí cca 8 %; pouze asi 15 % tepla přechází z plamene hladinou do skloviny. Jde-li tedy o další zvýšení tepelné ekonomie tavení skla, je třeba:

1. Zvýšiti styčný povrch mezi sklovinou a plamenem.
2. Omeziti ztráty tepla klenbou pece.
3. Omeziti ztráty tepla v hořácích a stěnami.

Za tím účelem bylo během doby navrženo několik způsobů zcela nových řešení tavicích pecí, které se přímo revolučně liší od dnešních van. Uvedu pouze několik příkladů, které se sice dosud v technické praxi nezavedly, ale které naznačují cesty, jaké lze volit k další ekonomisaci procesu tavení skla.

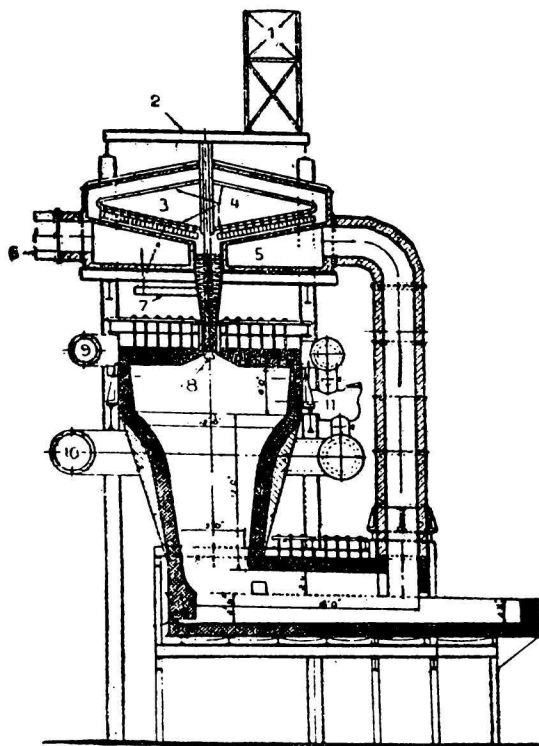
Jedním takovým řešením, které mělo za účel zvýšiti styčnou plochu mezi tavenou vsázkou a plamenem, byla šachtová pec Künzelova (obr. čís. 16.). Pec je šachtového tvaru, plní se shora. Nepoužívá se práškovitých surovin, ale hrubého písku, větších kusů vápence a sody. Vytápí se hořákem (vlevo na obrázku), jímž se rozprašuje uhelný prach. Mezi šachtou a hořákem je jímka (D) na utavené sklo. Spalné plyny procházejí šachtou mezi kusovitým vápencem, čímž se dosahuje dobrého styku topných plynů s ohříváním materiálem. Protože vsázka nestéká po stěnách pece, ale po kusovitém vápenci, který se současně otavuje, nedochází u této konstrukce k větší korosi žárovzdorné vyzdívky šachty. Podrobná data z pokusů s touto pecí nejsou známa, ale W. Fried-



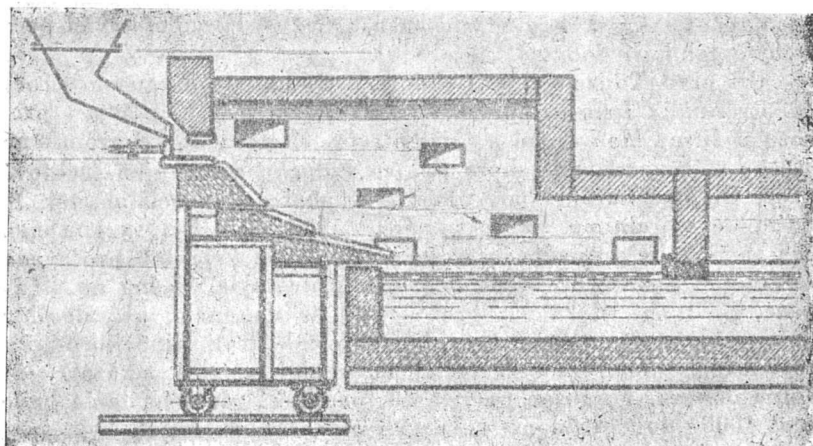
Obraz čís. 16. Künzelova šachtová tavicí pec. (Obraz z Glastechnische Berichte)

mann (Glastechnische Berichte 1931) uvádí, že spotřeba tepla na utavení 1 kg skla je značně menší, než u normální tavicí pece vanové tehdejší doby (1929—1930).

Již před Künzelem řešil obdobně tavení skla Ferguson v roce 1923 v Anglii. Jeho pec je znázorněna na obr. čís. 17 a byla v provozu u firmy Moorshead a Coad Pryor. Mletá a dobře promísená vsázka se rozprašovala shora tlakem vzduchu do rotující šachtové pece. Olejové hořáky byly umístěny nahoře tangenciálně, tak že došlo ke spirálnímu směru plamene. Pecí mělo být vyzkoušeno, zda stačí doba propadávání vsázky plamenem k jejímu protavení. Avšak při pokusech vsázka nepropadávala, byla vrhána na stěny pece, po nichž stékala a protavovala se dokonale, než dosáhla dolní nádrže na utavené sklo. Docházelo k dosti silné korozi žárovzdorného materiálu. Tepelně technicky se však ukázala pec velmi dobrou. Ferguson počítal, že specifická spotřeba tepla bude cca. 1000—1100 kcal na 1 kg skloviny. Při pokusech byla spotřeba tepla mnohem větší a to cca 10.000 kcal na 1 kg skla. Nutno však uvážit, že pec byla malých rozměrů a že byla vyhřívána při pokusech bez regenerace neb rekuperace tepla.

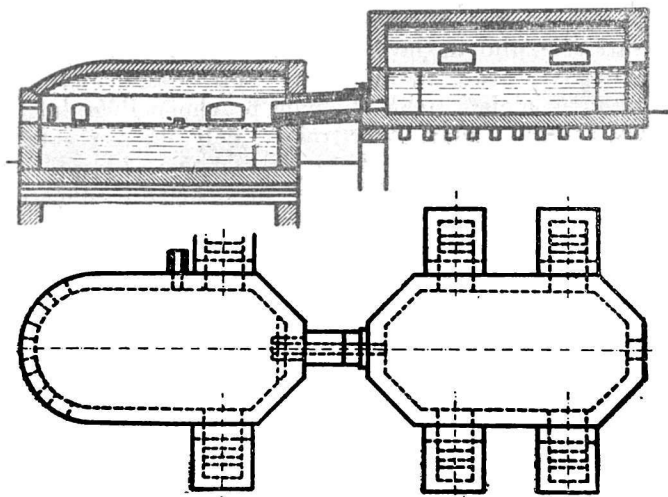


Obraz čís. 17. Fergusonova rotační pec. (Podle Glastechnische Berichte).



Obraz čís. 18. Frinkova tavící vana s kaskádou. (Obraz z Glastechnische Berichte).

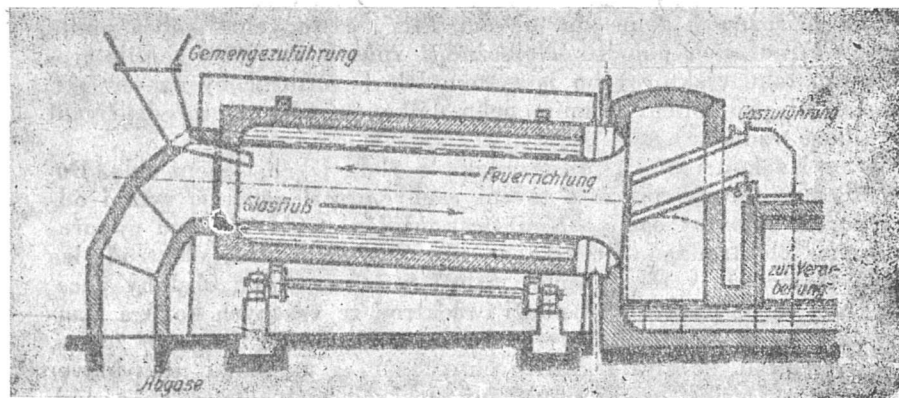
Zvýšení tavicí plochy řešili již v roce 1930 R. L. Frink a po něm celá řada sklářských techniků. Frink konstruoval vanu s kaskádovitě upravenou tavicí částí (obr. čís. 18.). Obdobně byla provedena celá řada pozdějších řešení nejrůznějšími autory.



Obráz čís. 19. Opermannova dvojitá vana. (Obráz z Glastechnische Berichte).

Opermann řešil tavení skla tím způsobem, že oddělil tavicí vanu od pracovní vany (obr. čís. 19.). Potíží byl spojovací kanál, který musí být dokonale tepelně izolován, nemá-li dojít ke značným ztrátám tepla. Dosud se ani tento způsob prakticky neujal.

Je velická spousta různých řešení, jímž se různí technologové pokoušeli zvýšiti ekonomii tavení skla. Avšak řešení rotační pece Dr. Zotosem z roku 1931 zasluhuje ještě zmínky. Dr. Zo'os svinul vanovou tavicí pec do válce. Rotační pec, jejíž původní



Obráz čís. 20. Zotoseva rotační tavicí pec. (Obráz z Glastechnische Berichte).

návrh je znázorněn v obrázku čís. 20, má takové obrátky, aby se sklovina rozprostřela ve stejnoměrné vrstvě po celém plášti válce. Plameny pak sálají na všechny strany přímo na vrstvu skloviny. Není zde obdoby s pecí cemenářskou, v níž se pálená hmota převaluje, ale spíše s Mannesmannovým způsobem rotačního lití rour. Vsázka se plní na levém konci (obrázek), plamen vstupuje protiproudě (zprava). Spalné plyny jsou odtahovány vlevo. Vytápí se plynem, olejem nebo uhelným prachem. Původní pec měla jistý malý sklon, pozdější konstrukce měly již osu rotace vodorovnou. Pec je obkloněna dvojitým pláštěm, kterým prochází vzduch vedený do hořáků; vzduch se přehřívá a současně chladí zdívo. Utavná sklovina jest odebírána z válce na pravé straně. Pečiže, na které tato jinak velmi geniální myšlenka narazila při pokusech o realizaci, spočívají hlavně v těchto bodech:

1. Poněvadž vlivem rotace je způsoben zvýšený tlak skloviny na žárovzdornou vyzdívku pece, nepodařilo se dosud dobře zamezit protékání skloviny spárami mezi vyzdívkovými cihlami.

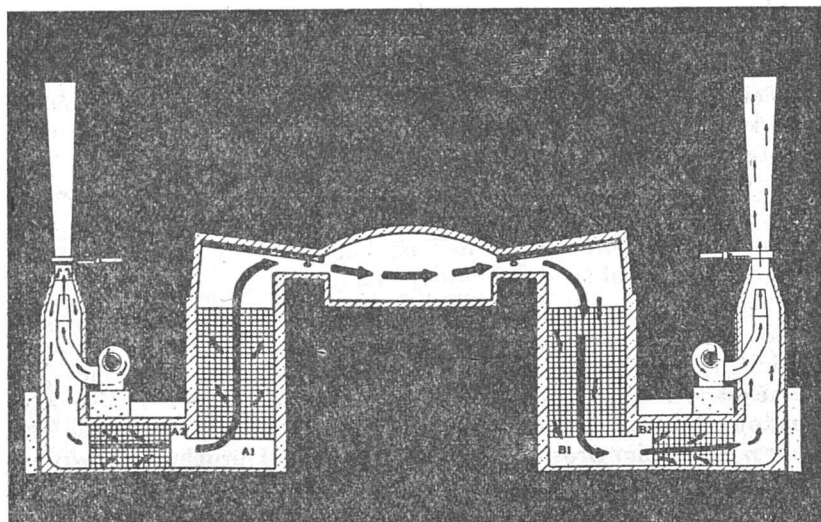
2. Konstrukce větší pece pro tak velké obrátky jest velmi obtížná.

3. Odebírání skloviny z válcovité části, které řešil Dr. Zotos kotytem, zasahujícím do skloviny a šikmo postaveným proti směru otáčení, je velmi obtížné, nemá-li dojít k novému zpění již vyčiřené skloviny.

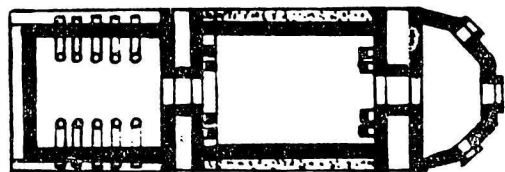
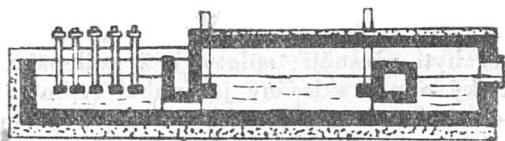
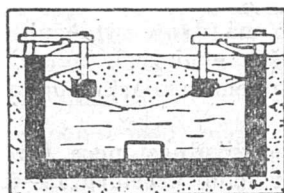
Výhodou pece jest: Odpadají ztráty tepla klenbou, poněvadž pec klenbu vůbec nemá. Odpadá ze stejného důvodu ztráta tepla stěnami, které zde nejsou. Celý plášť válce je vlastně dnem vany. Poněvadž není bočních stěn, odpadá i příčné proudění skloviny, které je ve vanách způsobováno ochlazováním skla bočními stěnami. Větší gravitací (odstředivou silou) je dosaženo rychlejšího čiření skloviny.

Vedle konstrukcí pecí věnuje se v poslední době pozornost umělému tahu na regenerativních vanách, aby nebyl tak závislý na přirozeném tahu komínovém, který často velmi kolísá podle povětrnostních poměrů. Nejbežnější způsob umělého ventilátorového tahu ejektorového je system Isley, znázorněný na obrázku čís. 21 pro topení zemním nebo dálkovým plynem (přehřívání pouze vzduchu).

Ke konci budiž ještě zmínka o elektrickém tavení skla. Budiž promluveno pouze o tavení vanovém, při němž se vytápí odporem skloviny samé, do níž jest uváděn střídavý proud ponořenými elektrodami. Používá se různého uspořádání elektrod, lze však říci, že v tomto směru záleží spíše na zvyku obsluhy pece. Dnes se již upustilo od použití elektrod ze vzácných kovů a standardem se staly elektrody z chemicky čistého grafitu neb železa. Uvážme-li, že ztráta grafitu činí cca 14 g na jednu tunu utaveného skla, jest zaisté používání elektrod molybdenových a podobně zcela zbytečným.



Obraz čís. 21. Regenerativní systém Isley s umělým ejektorovým tahem.



Elektrická CORNELIOVA tavicí-vana.
/Konstrukce 1947/.

Obraz čís. 22. Elektrická Corneliusova tavicí vana.

Elektrického tavení skla se používá hlavně tam, kde je k dispozici levný elektrický proud. Jsou to tyto země: Norsko, Švédsko, Finsko, Švýcarsko. Ale i U. S. A., Francie využívají ve značném počtu pecí elektrické energie k tavení skla.

Jako typ elektrické vany budiž uvedena vana Corneliusova. i když dnes již víme, že není nejvýhodnější a že jiná řešení, která se osvědčila hlavně ve Francii na kombinovaný ohřev plamenem a proudem, se ukázala výhodnějšími.

Princip Corneliusovy vany je znázorněn na obrázku čís. 22. Znázorněná vana je na výkon 30 tun za 24 hod. Sestává ze tří oddělení, souvisejících průtoky. Prvého průtoku není nevyhnutelně zapotřebí, je však účelný. Všechny elektrody v peci s výjimkou elektrod poblíže pracovního konce vany, jsou zavěšeny shora. V tavicím prostoru (vlevo na obrázku) procházejí elektrody vstřívou vsázky (viz příčný řez na téže obrázku nahoře), která pokrývá povrch skloviny. Zde také nemá pec klenbu. Žádná z elektrod není chlazená a všechny, kromě železných elektrod u pracovního konce vany, jsou grafitové. Některé grafitové elektrody vydržely v provozu až 9 měsíců, železné dokonce 27 měsíců.

Střední čířící prostor má dvojí vytápění: Elektrické a olejové. Čířící prostor sám však není zcela nutný, poněvadž ve většině případů protéká průtokem z tavicího prostoru již sklo čisté, bez bublinek.

V praxi se ukázalo, že životnost pece (kromě tavicího prostoru) je 50—60 měsíců, tavicího prostoru 14—20 měsíců. Příkon proudy obstarávají 3 transformátory po 500 kVA, regulační. Vsazka musí být suchá. Každé procento vlhkosti znamená zvýšení spotřeby proudy o 8 kWh na tunu skla.

Kontrola pece se děje ampermetrem a voltmetrem. Těmito přístroji se zachytí přesněji teplota, než nejlepším pyrometrem, neboť elektrický odpor skloviny je funkcí teploty; při dodržení předepsaného napětí a předepsané intenzity proudy musí mít tedy sklo konstantní teplotu.

Spotřeba proudy, která se udává pro elektrické tavení v U. S. A. jest 950 kWh na tunu skla. K tomu přistupuje 125 kWh pro pomocné zařízení. Činí tedy celková spotřeba 1,075 kWh na kg skla. Prakticky však lze dnes počítat při čistě elektrickém tavení s těmito spotřebami proudy:

Na tavení vodního skla: 0,725 kWh/kg skla.

Na sodno-vápenato-křemičité sklo: 1,8—2,5 kWh/kg skla.

Co do výkonu pece předčí elektrické vany značně vany vytápěné plynem, jak vysvítá z těchto čísel:

Plynem vytápěná vana: Výkon 1,2—1,4 tuny/24 hod. na 1m².

Elektrická vana: Výkon: 2,0—2,8 tun/24hod. na 1m².

Kombinované plamenné a elektrické tavení.

Poněvadž přechod tepla z plamene závisí na teplotním gradientu mezi plamenem a ohřívanou hmotou, je výhodné vytápěti plamenem pouze tu část vany, kde jsou vsázka a z ní tavené sklo ještě chladné, t. j. tavicí prostor. V čiricím prostoru je rozdíl teplot mezi sklovinou a plamenem malý a proto i přechod tepla špatný. Z toho důvodu se v praxi zavedla kombinovaná tavení, kde tavicí prostor jest vyhříván plamenem, kdežto v čiricím prostoru jest sklo vytápěno elektricky. Výhody dosažené jsou tyto:

1. Pomocným elektrickým topením zvyšuje se výkon vany nejméně o 30%.

2. Zkracuje se tím doba temperování vany.

3. Spalování se udržuje stejnoměrné na optimálním výkonu a elektrický příkon se reguluje podle produkce.

4. Lepší regulovatelností teploty stoupá výkonnost vany.

5. Sklo je homogennější a dosáhne se menšího procenta zmetků.

Dnes je ve Francii přes 40 elektrických van, ve Švédsku 3, ve Finsku 2, v Norsku asi 4, ve Švýcarsku několik.

Mám-li se dnes vyjádřiti do budoucna, jaký vývoj očekává asi tavení skla, mohu s jistotou nadějí, že se nezmýlím, říci asi toto:

1. Vývoj jde a půjde směrem k vanovým pecím s plně automatickou regulací celé funkce.

2. Lze s pravděpodobností očekávat, že u pecí vytápěných palivem půjde vývoj směrem k některé z moderních revolučně řešených pecí, snad i pecí rotačních.

3. Určitě však půjde (i u nás) vývoj směrem rozšíření použití elektrického proudu na tavení skla ve vanách, neli čistě elektricky, tedy s kombinovaným vytápěním plamenem a elektricky.

Nobelove ceny za rok 1949

MIKULÁŠ GREGOR

10. decembra 1949, v deň výročia smrti A. Nobela, konala sa opäť tradičná slávnosť udeľovania cien v koncertnej sieni v Stockholme prítomným laureátom Nobelovej nadácie. Udeľené boli ceny za fyziku, chémiu a lekárstvo; nositeľmi boli Japonec, Američan, Švajčiar a Portugalec. Hodnota každej ceny bola 156.289 šv. Kr.

Cenu za fyziku obdržal 42-ročný Japonec Hideki Yukawa, profesor teoretickej fyziky na univerzite Columbia v USA za predpoveď existencie mezonu na základe svojich teoretických výskumov na poli nukleárných síl.