

15. Градежно стакло

Стаклото е цврст аморфно изотропен материјал кој се добива со стврднување на оладените силикатни раствори.

Стаклото е пронајдено во Египет и Месопотамија 3000÷4000 години пред нашата ера. Во I век пред нашата ера тоа е пренесено од Египет во Италија, од каде се распространува низ целата Римска Империја.

Хемиската постојаност, просирноста, малата спроводливост на топлина, доволната механичка јакост, како и можноста за потполна механизација и автоматизација на производниот процес дозволуваат стаклото да се користи таму каде што не би можел да се употреби ниту еден друг градежен материјал. Денеска, освен за застаклување на прозорските окна, стаклото се користи и како конструктивен материјал, термоизолационен материјал, звучно-изолационен материјал, материјал за изработка на детали за украсување на фасада, како и за материјал за покривање и друго. Денеска, во модерната технологија за добивање на нови материјали, како што се композитните материјали, во матрицата на композитот се вметнуваат стаклени влакна и се добива материал со подобри карактеристики од оние на составните елементи на композитот.

15.1 Основни суровини

Основна суровина за добивање на стаклото е **кварцниот песок** кој се топи на многу висока температура од 1400÷1700 °C. После топењето тој се претвора во стаклена маса.

Главно, при производството на градежното стакло, освен **кварцниот песок** (SiO_2) кој е застапен со 40÷100 % , најчесто 70÷75 % , се употребуваат и други суровини како што се:

карбонатите:

- **натриум карбонат (сода Na_2CO_3),**
- **калиум карбонат (поташ K_2CO_3),**
- **калциум карбонат, варовник (CaCO_3) или доломит (со 8÷13 %),**

и оксидите на:

- **олово (PbO),**
- **алуминиум (Al_2O_3),**
- **цинк (ZnO)**

Освен овие, може да се употребат и други додатоци, како што е на пример, боракс ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), миниум (Pb_3O_4), во зависност од видот на стаклото и саканите особини: зголемена просирност, јакост, сјај и др. При ова, карбонатите го олеснуваат процесот на топењето, т.е имаат функција на топители.

Покрај главните суровини на стаклената маса се додаваат и **помошни суровини за боење** (кобалтов и манганов оксид и др.), **за бистрење** (натриум сулфат, шалитра) и средства за одземање на просирноста (калаен оксид и др.).

Кварцниот песок кој се користи за добивање на градежното стакло треба да содржи **висок процент на SiO₂** со минимален процент на примеси, како што се оксидите на **железо (Fe), хром (Cr) и титан (Ti)**, кои го намалуваат пропуштањето на светлината. Примерно, за производство на прозорско стакло **оксидот на железо** се ограничува на **max 0,05 %**, за **оптичко стакло 0,01%**, а за **кристално стакло 0,015%**. Од друга страна високиот процент на присуство на SiO₂ допринесува за зголемување на огноотпорноста и хемиската постојаност на градежното стакло.

Според **хемискиот состав** се разликуваат неколку видови стакла: **калциумско стакло**, кое во зависност од составот на суровината може да биде *натриумско* или *калиумско*, оловно или кристално стакло, **алуминиумско стакло**, **алуминиумско бор-силикатно стакло** и **кварцно стакло**

Стаклото кое што се употребува **во градежништвото** обично се дели на две групи:

- **варовно** или **обично стакло** кое се произведува од комбинација на кварцен песок, натриум карбонат и калциум карбонат (натриумово стакло), или пак од кварцен песок со додаток на калиум и калциум карбонат- калиумово стакло;
- **оловно стакло** или **кристално стакло** кое се добива кога варовникот ќе се замени со оловен оксид (PbO).

15.2 Производство на стакло

Стаклото се добива според следната **технолошка шема**:

- (1) суровината се **суши**, се **прочистува** од различни примеси, се ситни, се отстрануваат покрупните фракции чакал и трошен камен, **се мелат кредата, доломитот и варовникот**;
- (2) после **дозирањето** на компонентите во соодветни тежински односи, се врши машинско или рачно **мешање**, односно **хомогенизирање** на истите во сува состојба при што се добива т.н **“стаклен камен”**;
- (3) хомогенизираната маса **се брикетира** во поголеми парчиња, и
- (4) **се топи** во специјални печки на високи температури.

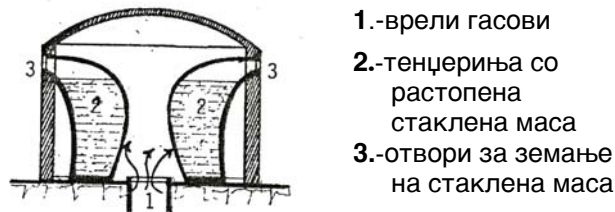
Стаклениот камен се загрева на температура од **1450÷1600 °C** до потполно одделување на сите примеси во вид на пена. Во текот на овој процес на топење, смесата се обезбојува и се отстранува воздухот и другите гасови со помош на разни додатоци.

Во индустријата, **топењето** на стаклото се врши во различни типови на **печки** кои според начинот на работа се делат на :

- **печки со периодично полнење и празнење-шаржерни печки**, и
- **печки со континуиран процес на работа** кои непрекинато се полнат со суровината и стаклото континуирано се извлекува.

Од **шаржерните печки** најпознати се т.н печки во вид на тенџериња, т.е **лонец печки**, Сл.15.1. Истите имаат релативно мал капацитет и денеска сеуште се користат единствено за производство на специјални видови на

стакло, како што се, на пример, оптичките стакла коишто не се произведуваат во големи количини. Предноста на овие печки е во тоа што овозможуваат истовремено топење на различни врсти на стакло, во зависност од бројот на тенџерињата.



Сл. 15.1 Шаржерна печка за топење на стакло

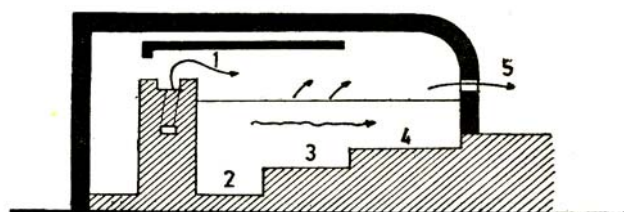
Во поново време, за производство на поголема количина на еден вид стакло се користат **печки со континуиран процес на работа**, т.е **печки во вид на кади**, Сл.15.2, т.н **кадни печки**. Тоа се огноотпорни сидани печки чиј под и сидови формираат базен со **должина** од **6-20м**, а **ширина** од **3-7м**. Најчесто овие печки се користат за добивање на рамно, градежно стакло. Волументот на истите може да е до 600 m^3 , а дневното производство до 1500 тони. Вообичаено, топењето се врши со гасни горива, сместени во гасни генератори, кои заедно со воздухот се доведуваат во делот 1 на печката каде запалувањето се врши со пламеник. Пламените јазици, преминуваат преку стаклениот камен и постапно го топат.

Топењето на стаклениот камен се врши во **три фази** кои се и просторно одвоени, дел 2, 3 и 4 на Сл.15.2, при што стаклената маса патува низ печката.

I фаза: на $T_2=1100-1250^\circ\text{C}$, во делот **2**, каде се внесува суровината, се врши **синтерување**, т.е **размекнување** на стаклениот камен и се создаваат силикатите. Овој дел од печката има нешто поголема длабочина со цел да се спречи оштетувањето на печката заради високата температура;

II фаза: на $T_3=1500-1600^\circ\text{C}$, во делот **3**, настанува потполно топење на стаклениот камен, при што се отстрануваат гасовите настанати од разделувањето на одделните составни делови, и евентуално нестопените елементи од суровината, стаклената маса останува бистра и хомогенизирана;

III фаза: на $T_4=900-1000^\circ\text{C}$, во зоната **4**, т.н **зона на ладење**, стаклената маса се лади постепено до температурата на обликување. Во оваа зона масата одстојува пред да се пристапи кон понатамошна обработка. На долниот дел од сидот на овој дел од печката има отвори (Сл. 15.2, ознака **5**), преку кои стаклената маса се зема за понатамошна обработка.



Сл. 15.2 Шема на кадна печка за топење на стакло

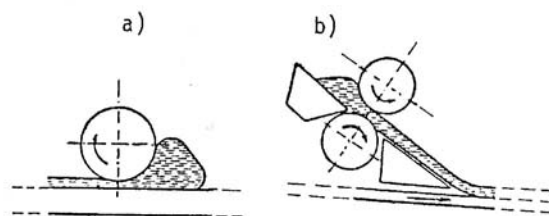
(5) Обработка на стаклената маса

Обработката на стаклото се врши со:

- **развлекување**, т.е **валање**,
- **дување**,
- **извлекување**,
- **лиење**, и
- **пресување**.

При **развлекувањето** или хоризонталното валање течното стакло се излева на **хоризонтална** површина, најчесто специјална метална маса, а потоа со **метален цилиндер-валјак**, кој одвнатре може да се грее, **се притиска** формирајќи така плочи со различна дебелина, Сл. 15.3-а. Плочите понатаму се носат во посебни простории во кои **постепено се ладат** и на тој начин се отстрануваат внатрешните напрегања во стаклото **кои го прават лесно кршливо**.

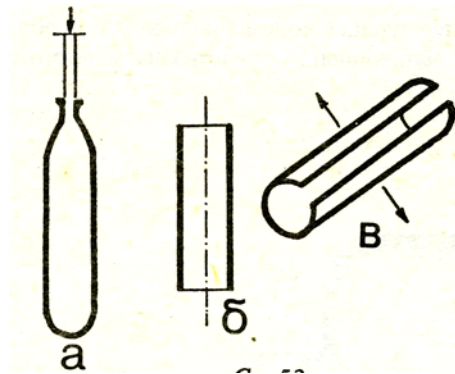
Валањето може да се реализира и со постапката на **Бишоро** (Bicherox) со помош на систем од два цилиндри, валјаци, Сл. 15.3 (b), со што се врши поедноставување на процесот на развлекување. Во овој случај, растопеното стакло од работниот дел на печката, со помош на специјален олук се доведува до долниот валјак кој се движи во насоката на часовата стрелка, односно во правец на движење на растопената стаклена маса. Над овој валјак, во спротивна насока се врти другиот валјак со чија помош се формира стаклената плоча. Дебелината на плочата се регулира со менување на растојанието меѓу цилиндрите. Вака формираната стаклена трака патува со хоризонтален транспортер и поминува низ печки каде постепено се лади.



Сл. 15.3 Шематски приказ на постапката на валање

Со примена на **процесот на дување** можно е да се произведуваат разни плочи и цевки. Меѓутоа, денес, главно оваа постапка се применува за добивање на т.н. “шупливо” стакло. Дувањето на стаклото може да се врши рачно и машински. Рачно тоа се врши со помош на дувалка, т.н. стаклено луле, што претставува желозна цевка долга околу 1.8м која на едниот крај е обложена со дрво, а на другиот е зајакната за да се заштити од влијанието на високата температура. Работникот, дувалката ја вовлекува во печката и со постојано вртење собира растопена маса. Масата со истовремено дување и вртење околу подолжната оска на лулето се претвора во шупликов меур, Сл. 15.4 (a). Кога меурот ќе ја добие потребната големина се отсекуваат делови од него и се добива стаклен, шуплив цилиндер, валјак, Сл.15.4 (б) кој е доволно цврст и со правилен облик.

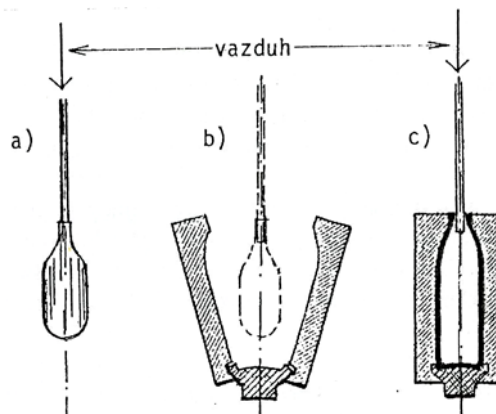
Ако од стаклениот валјак треба да се добие рамна плоча, тој се пресекува во правец на подолжната оска, по изводницата, Сл. 15.4 (в), се внесува во специјална печка да размекне, а потоа се развлекува во рамна плоча.



Сл. 15.4 Процес на рачно дување

За добивање на шупливо стакло со дефиниран облик и димензии, стаклениот меур се става во соодветен, претходно отворен калап. Со понатамошно дување се формира саканиот производ, Сл.15.5 (b).

Машинската обработка се повеќе го истиснува рачното производство на дувано стакло, кое било многу тешко и се вршело од врвни мајстори со многу искуство и умешност. Во модерната технологија оформувањето на производите се врши со автоматизирани машини. Машината ја вшмукува растопената маса директно од печката, формата ја даваат калапите, а дувањето се врши со компримиран воздух. Калапот автоматски се отвора и готовиот производ со посакуваната форма, понатаму со помош на подвижна лента се пренесува во печка за ладење. На ваков начин дувањето се врши во две етапи, и се добива т.н **дувано-дувано** стакло.

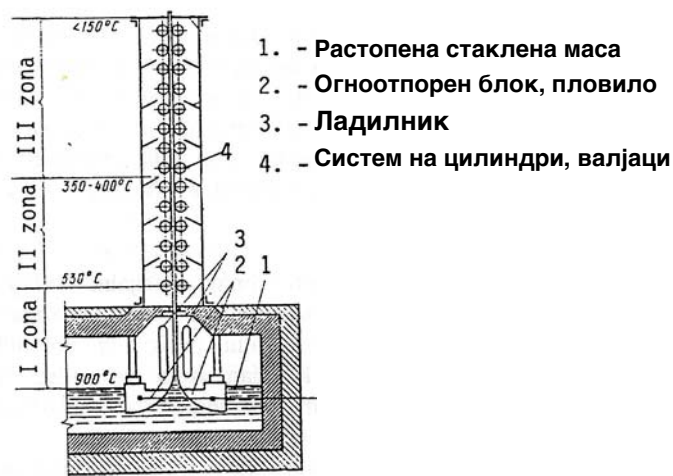


Сл.15.5 Постапка на обработка со дување

За производство на **прозорско стакло** и **стаклени плочи** со големи површини, денес најмногу се користи постапката на механичко **извлекување** на стаклото, **пресување** и **лиење**.

При постапката на **извлекување** се користат **две методи** на извлекување: **со пловак** и **без пловак**. Почесто се применува **методата со пловак**, или уште позната како **метода на белгискиот инженер Фурко** (Fourcault), Сл. 15.6. Извлекувањето се врши со специјален блок, изработен од огноотпорен материјал, кој има расечено дно по должината и плива по растопеното стакло. Кога блокот ќе се нурне до одредена длабочина во растопената маса, течното

стакло ќе навлезе во расечениот дел и ќе почне да излегува од него, така стаклената маса може лесно да се прифати. Ако во овој зазор се постави рамна стаклена или метална плоча а коритото да се одржува на иста длабочина, масата ќе се залепи за истата, и ако постапно се извлекува ќе се формира рамна, бескрајна стаклена лента со одредена дебелина и ширина. Плочата се прифаќа и извлекува во вертикален правец со помош на систем од цилиндри направени од азбест или лискуни. Стаклената плоча се влече со постојана брзина и минува низ **три зони** во кои постапно се намалува температурата условувајќи програмиран, рамномерен процес на ладење, така што нема потреба од дополнително ладење. Вака формираните стаклени површини понатаму се обработуваат со брусење и полирање, можно е да се добие обоено стакло или армирано стакло. Со примена на овој метод се добива прозорско стакло со дебелина од 2 до 5 mm.



Сл. 15.6 Постапка на извлекување на рамно стакло

Лиенето и пресување е постапка за добивање на производи со мали димензии, а поголеми дебелини, на пример, ќерамиди од стакло, или предмети кои после обработката на стаклото нема да се сечат. Се изработуваат полни и шупливи стакла со излевање на стаклената маса во специјални стаклени калапи и по пат на пресување под дејство на сила на притисок се добиваат предмети со мали димензии и по софистицирани форми.

Во современата технологија на обликување на стаклото често се користат комбинации од претходно наведените основни постапки, на кои им се приклучуваат и други методи со кои се добива производ со бараниот квалитет. Денес, на пример, многу се користи и процесот на добивање на т.н **пливачко стакло** (float glass), со што се постигнува потполно паралелни и рамни површини без несовершености кои би ја намалиле провидноста или деформацијата на сликата на рамното, прозорско стакло. Постапката се состои од следното: откако дозираните составни компоненти на суровината, стаклениот камен, во потполност ќе се стопат на температуре од **1600 °C**, растопената маса се излева преку **слој од растопен метал** со поголема густина од стаклото (на пример, **калај**), со истовремено полирање на горните површини со пламен. Потоа, масата се транспотрира со помош на систем од цилиндри, со што се обезбедува постапно ладење и пренесување во делот каде ќе се исече на табли со посакуваните димензии. Комплетниот процес, од

дозирање на суровината до сечење на стаклото и контролата на квалитетот, најчесто е потполно компјутеризиран.

(6) Ладење на растопената стаклена маса.

Начинот на ладење има многу големо влијание на особините на стаклото. Ако ладењето е постапно и доволно долго, се добива просирно, еластично и доволно цврсто стакло. Ако растопената маса се лади брзо, тогаш заради нееднаквото ладење во целата маса ќе се јават внатрешни напрегања кои условуваат стаклото да биде многу чувствително на удари и на ненадејна промена на температурата, при што многу лесно се крши. Меѓутоа, ако растопената стаклена маса многу долго се држи на температурата на размекнување таа ќе се замати, ќе ја изгуби својата просирност и ќе се добие скоро бела боја.

(7) Додатна обработка

Вообичаено, во постапката на обликување на многу производи од стакло се применува и процесот на **одгревање**. Се применува со цел да се елиминираат заостанатите, внатрешни напрегања во стаклото кои се јавуваат заради сразмерно брзото ладење на производите. Ако не се примени оваа постапка на одгревање, тогаш, во стаклените производи спонтано ќе се јавуваат прснатини, и драстично намалување на механичките карактеристики. Постапката на одгревање, се врши во посебни тунелски печки со континуиран режим на работа. Стаклените производи се движат по лентовиден транспортер изработен од огноотпорен материјал. Минувајќи низ печката, истите се изложени на посебен режим на загревање, различен за разни видови стакло. Најпрво, тие се загреваат на температура која не е поголема од **600 °C**, се задржуваат одредено време на таа температура, и рамномерно се ладат до собна температура на излезот од печката.

Калење е процес на специјална термичка обработка со која се зголемува јакоста и тврдоста на стаклото. Зависно од составот, стаклото се загрева до одредена температура, т.н температура на калење, која е блиску до точката на размекнување, а потоа брзо се лади со млаз на ладен воздух. Средна вредност на температурата на калење е приближно околу **700 °C**. При нагло ладење, во процесот на калење, појавата на внатрешните напрегања е контролирано и тие се рамномерно распределени по масата. Каленото стакло во надворешните слоеви е напрегнато на притисок, а во внатрешните на затегнување, така што оваа рамнотежа на напрегањата допринесува за зголемување на неговата отпорност.

Полирањето е постапка за елиминирање на оптичката нехомогеност на стаклото, која се јавува заради присуството на бранови на површината, нееднаквата дебелина, итн. Најпрво се врши грубо, а потоа и фино полирање на стаклото, при што се користат различни **абразивни средства**: кварцен песок, корунд, карборундум и др.

Матирање е процес на механичко или хемиско еродирање на површината на стаклото. **Механичкото матирање**, најчесто се врши со **постапката на пескареење**, кога на површината од стаклото се делува со млаз од кварцен песок под притисок. При **хемиското матирање** површината се нагризува со **флуороводородна киселина**. На овој начин се добива матно, непровидно стакло.

Определени водови стакло се добиваат и со дополнителна обработка со **лепење**. На овој начин стаклените плочи се спојуваат со слој од одреден лепак на база на полимери, кој формира провиден филм меѓу двете плочи. При лом овие стакла не се распаѓаат, и деловите од стаклото остануваат поврзани.

Освен овие, во додатна обработка на стаклото влегуваат и следните постапки:

- **свиткување**, кое се врши преку шамотен калап, со згревање на стаклото на приближно **600 °C**,
- **премачкување** на површините од рамно стакло **со соли на сребро**, со што се добива **огледално стакло**;
- нанесување преку површината на стаклото одредени превлаки и филмови, на пример да се нанесе керамичка боја која ќе се исуши во печки за таа намена.

15.3 Основни особини на стаклото

Својствата на стаклото во општ случај зависат од неговиот состав, од структурата, која се формира во зависност од технолошкиот процес, од температурата на топење, брзината на ладење, додатната обработка и др. Стаклото како и сите останати материјали поседува одредени особини кои се заеднички за сите нив. Како посебно карактеристични особини на стаклото се **пропуштањето на светлина-провидноста** и **кртоста**, т.е **кршливоста**.

Обично градежното стакло ги има следните физичко-механички својства:

- **Специфичната маса** на техничкото стакло е **2200÷2800 kg/m³**, а на оловното до **6000 kg/m³**;
- **Порозноста** на стаклото е практично еднаква на **нула**, се разбира, ако не се работи за шупливо, т.н пенасто стакло;
- Стаклото различно се однесува на притисок и на затегнување. **Јакоста на притисок** кај обичното градежно стакло е **f_p=200÷500 МПа**, а кај оловното стакло и преку **1000 МПа (1200 МПа)**;
- **Јакост на затегнување при свиткување**, при краткотрајно оптоварување обично изнесува **f_{zs}=30÷80 МПа**;
- **Јакоста при чисто затегнување**, е приближно еднаква на десетина од јакоста на притисок, и битно зависи од дебелината на елементите кои се испитуваат.
- **При делување на долготрајно оптоварување** е забележано **намалување** на јакоста за **15-20%**;
- Стаклото е типично **крт материал** и неговиот работен дијаграм е практично праволиниски во целото подрачје на напрегања. **Модул на еластичност** варира во границите **E=47000÷100000 МПа**, или **50-100 GPa**;
- **Поасоновиот коефициент** на стаклото е **μ~0,22**.
- **тврдост** по скалата на Мос **5÷7**;
- **коефициент на линеарно ширење α_t** во температурен дијапазон од -20 до 40 °C, кај обичното градежно стакло изнесува **α_t=(8,5÷9)·10⁻⁶**;

- Стаклото, во зависност од видот, пропушта светлина $0\div 87\%$, значи дека е **провидно**. Тука треба јасно да се диференцира значењето на провиднос и просирнос. **Просирноста** претставува способност на стаклото да пропушта доволно количина на светлина, а не и јасно согледување на сликата на предметите од другата страна на стаклото.
- Стаклото е **добар топлински изолатор**, и за практични пресметувања може да се усвои дека коефициентот на спроведување на топлина е:
 - за прозорско стакло $\lambda=0,81\text{ W/m}\cdot\text{°C}$;
 - за армирано стакло $\lambda=0,44\text{ W/m}\cdot\text{°C}$;
- Стаклото е **добар звучен изолатор**, примерно стакло со дебелина од 10 mm има исти звучноизолациони својства како и ѕид од тули со дебелина 0,12 m (12 cm).
- **Основен недостаток на стаклото е неговата кртост**. Еден од начините на проценка дали некој материјал е крт или не, е определување на **односот на модулот на еластичноста (E) и јакоста при чисто затегнување f_z , (E/f_z)**, кој се вика **коефициент на кртост**. Колку овој однос E/f_z е **поголем** толку материјалот е **покрт**, т.е при помала деформација многу побрзо се постигнува граничната вредност на напрегањето, и се јавува лом во материјалот. Како илустрација дадени се податоци за неколку покарактеристични материјали:

Табела 15.1 Коефициент на кртост за различни материјали

Материјал	Модул на еластичност (MPa)	Јакост на затегнување (MPa)	Коефициент на кртост (E/f_z)
Стакло	$(4,5\div 8)\cdot 10^4$	30÷60	1300÷1500
Каучук	$(8\div 20)\cdot 10^4$	20÷30	0,4÷0,6
Челик	$(21\div 22)\cdot 10^4$	300÷1000	400÷460
Бетон	$(1,4\div 2,1)\cdot 10^4$	1,5÷5,0	4200÷9350

15.4. Врсти и елементи од рамно стакло

Денес, во градежништвото, главно се користи рамното стакло кое може да има различен квалитет, облик и димензии. Во индустријата за стакло се произведуваат повеќе типови на рамно стакло: обично прозорско стакло; термоизолационо и термоапсорпционо стакло; калено стакло; армирано стакло; фасадно стакло и други.

(1) Рамно прозорско стакло: се користи за застаклување на прозори. Се произведуваат машински, по методот на извлекување на стаклената маса во плочи со рамномерна дебелина кои од двете страни се рамни и глатки. Прозорското стакло мора да биде безбојно со рамни рабови и прави агли на рабовите.

Пропуштањето на светлината мора да биде најмалку 87 % и тоа не смее да има дефекти (меури, прснатини, гребнатини, непровидни делови и слично).

Кај нас, за потребите на градежништвото се произведуваат три врсти на прозорско стакло: обично, средно и двоструко прозорско стакло.

Обичното стакло има дебелина од 2 mm, ($1,9_{-0,1}^{+0,2}$), а останатите димензии не се пропишани.

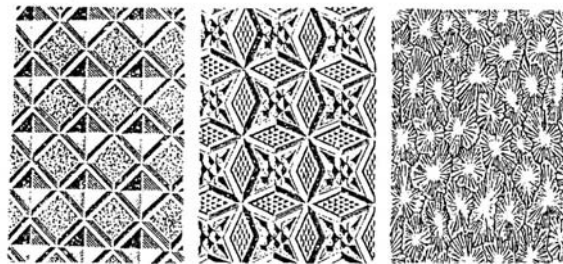
Средното стакло има дебелина 3 mm, ($2,9_{-0,1}^{+0,2}$); додека **двострукото** се произведува со дебелина од 4 mm ($3,9_{-0,1}^{+0,2}$).

Останатите димензии на влеченото прозорско стакло, примерно должината зависи од дебелината, а ширината од можноста на машината во која се произведува. Според стандардите овие димензии се движат во следните граници:

- должина: **160-180см** за дебелина од 2мм; **160-200см** за дебелина од 3мм; **160-240см** за дебелина од 4мм; **160-360см** за поголемите дебелини;
- ширина 130÷180 cm.

Рамното прозорско стакло се вградува во дрвени, метални и пластични рамки. Денеска најмногу се користи вградување на двострукото прозорско стакло во дрвени, а во поново време и во метални, најчесто алуминиумски и пластични рамки.

(2) Стакло со дифузно растурање на светлината - мат стакло. Ова стакло ја пропушта светлината, меѓутоа низ него неможат јасно да се видат предметите, не е провидно, и затоа многу се користи за застаклување на внатрешни прегради, врати, разни ормани и други предмети од ентериерот. Мат-стаклото се добива по пат на **пескарење** на загреаната површина на стаклото. Исто така можно е ова стакло да се добие **со валање** на излеаната стаклената маса со рељефни цилиндри. На овој начин се добиваат различни орнаменти, Сл. 15.7, вклучувајќи и подолжни бразди на површината. Вака добиеното стакло се нарекува и **орнамент стакло**. Можно е овие шари да бидат и обоени со што се постигнува двоен ефект: непровидност и убав естетски изглед. Се произведува со дебелина **4-6мм**, со стандардна **ширина** од **120см** и **должина** од **120-300см**.

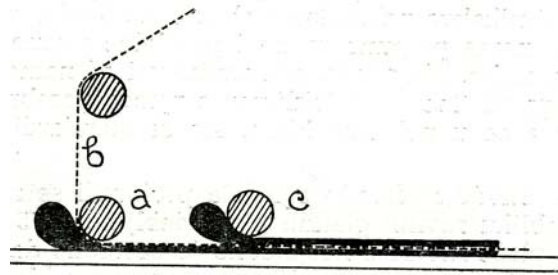


Сл. 15.7 Различни рељефи на орнаментно стакло

(3) Армирано стакло е обично стакло во кое се наоѓа мрежа со метални нишки, хромирани или никлувани челични жици, кои ја зголемуваат еластичноста, јакоста на свиткување и ја отстрануваат опасноста која може да настане при кршење на истото.

Армираното стакло се добива со лиење на стаклената маса во два слоја и втиснување на жичаната мрежа меѓу нив. Најпрво се развлекува првиот слој стакло на рамна метална маса, се поставува металната мрежа и веднаш се излева и вториот слој кој се развлекува со помош на метални цилиндри. Често се користи и систем од валјаци, Сл. 15.8, од кои едниот валјак **(а)** го вала

првиот слој а во исто време служи за затегнување на мрежата (b), додека веднаш преку овој слој се излева и вториот кој се вала со цилиндерот (c).



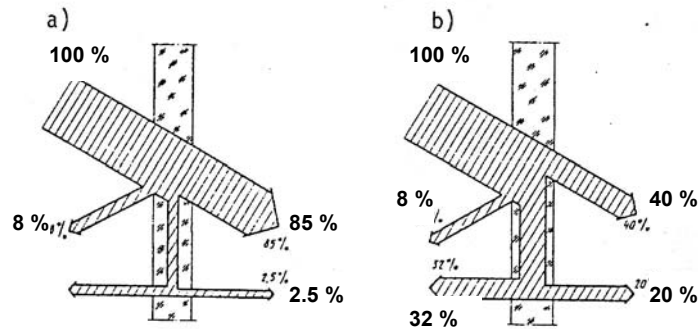
Сл. 15.8 Постапка на добивање на армирано стакло

Овој тип на стакло се користи за покривање на кровните површини на челичните конструкции, за покривање на настрешници, за застаклување на скалишни простори, просторите околу лифтот, прозори во работилници и индустриски хали, за изработка на огради на балкони и друго.

Се произведува со **дебелина** од **4-8мм**, стандардна **ширина** од **120см**, и со **должината** на таблите од **130, 210 и 300см**. Просирно е, меѓутоа не е провидно, пропустливоста на светлина му е 82-85%. Припаѓа во групата на сигурносни стакла. Има зголемена отпорност на пожар, како и одредена отпорност на намерни удари.

(4) Термоизолационите стакла се составени од два до три слоја на стакло, помеѓу кои просторот од **6-12мм** е исполнет со сув воздух или гас, на пример со аргон, а плочите се меѓусебно херметички затворени или залепени. Бидејќи сувиот, заробен, воздух е слаб спроводник на топлина, вредноста на коефициентот на минување на топлина **u** значително се намалува. Така, елемент од два слоја на стакло со дебелина 3мм, со 12мм воздух помеѓу нив, има **$u=2.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$** , што споредено со кефициентот **$u=5.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$** , за **еднослојно стакло** со иста дебелина, претставува намалување за половина. Овој коефициент, кај трослојно термоизолационо стакло со два слоја на воздух, **4+12+4+12+4мм**, изнесува **$u=2.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$** , и тие обезбедуваат и зголемување на звучната изолација. Овие стакла се познати под различни фабрички имиња. Во Табелата 5.2 се презентирани некои карактеристични видови на повеќеслојни стакла кои денес се применуваат во градежништвото, каде освен податоците за коефициентот на минување на топлина, се дадени и податоци за пригушувањето на звукот и процентот на поминување на светлина.

(5) Термоапсорпционо стакло: Ова стакло се користи за застаклување на простории и згради кои треба да бидат заштитени од дејство на топлината на сончевите зраци. Ефектот на апсорпција на сончевото зрачење, Сл. 15.9, се постигнува со додавање на одредени **метални оксиди** во стаклената маса. Ова стакло има зеленкастосин прелив и може да задржи дури повеќе од **75 %** од топлинското зрачење, Сл.15.9, заради што се загрева и термички се деформира. За ова посебно треба да се води сметка при неговото вградување во рамките. Најдобар начин на примена на ова стакло е ако истото се вградува во т.н. двоструки прозори, или во термоизолационите стакла при кои термоапсорпционото стакло се поставува од надворешната страна, а обичното како внатрешно стакло, Табела 15.2.



Сл. 15.9 Шема на апсорпција на сончевото зрачење за обично (а) и термоапсорпционо стакло (б)

(6) Калено стакло: Според дефиницијата по нашите стандарди е стакло од еден слој, чија јакост е зголемена со специјална термичка обработка.

Овој тип на стакло се добива со загревање до температура на калење од $550\div 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ во период од $3\div 5$ минути, а веднаш потоа се изложува на брзо и рамномерно ладење од двете страни со дување на млаз од ладен воздух. Посебно треба да се нагласи дека стаклото се сече на саканите димензии пред да се изврши процесот на калење. За овој тип на стакло карактеристично е и тоа што при лом се распаѓа на мали елементи со тапи рабови кои се поврзани меѓусебе и не летаат наоколу. Токму оваа особина го вбројува во групата на сигурносни стакла, затоа е многу познато под името “секурит” стакло.

Каленото стакло се карактеризира со:

(1) **јакост на удар** $4\div 6$ пати поголема од обичното стакло. На пример, плоча од калено стакло со дебелина од 6 mm може да издржи **удар од челична топка** со тежина од 500 gr што паѓа од **висина од 2 m** ;

(2) ганична **јакост на свиткување** од $230\div 270\text{ MPa}$, што е $5\div 8$ пати повеќе отколку јакоста на обичното стакло;

(3) отпорност на **температурен шок** од $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Каленото стакло најмногу се користи за застаклување на транспортни возила (автомобили, камиони, возови, автобуси и друго). Во поново време се употребува за застаклување на прозори, врати, излози, за изработка на кабините на лифтови. Денес, често се користи за изработка на врати без рамки кои се поврзани со специјални метални шарки.

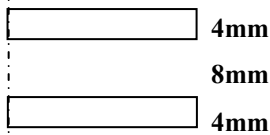
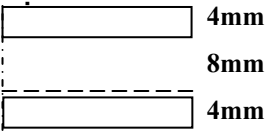
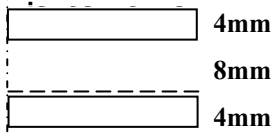
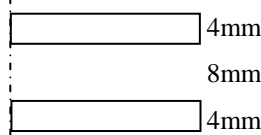
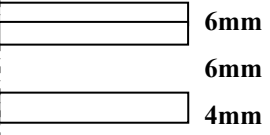
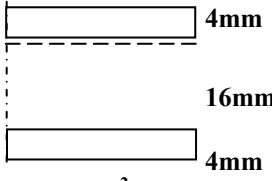
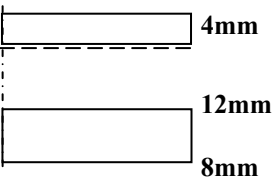
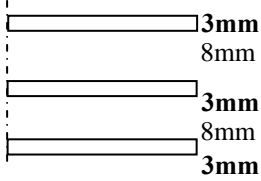
Дебелината на овие стаклени плочи се движи од $5\div 18\text{ mm}$ така што може да се изработуваат елементи кои примаат големи надворешни сили.

(7) Лепеното стакло спаѓа во групата на сигурносни стакла и се добива со лепење на стаклени плочи со пластични материи. Овој тип на стакло при кршењето не се распаѓа туку сите делови остануваат залепени за пластичната материја. Се употребува за застаклување на моторни возила.

(8) Стакло кое се загрева: Ова стакло се изработува со претходно вграден метален проводник кој овозможува негово загревање со помош на електрична струја. Се користи за застаклување на простории од кои се бара одржување на постојана температура: болници, поликлиники, стаклени бавчи, оранжерии, може да се користи и како огледало во просториите со поголема влажност (бањи), за изработка на задниот ветробран кај патничките возила.

(9) Стакла отпорни на пожар: Имаат различни фабрички имиња и на различен начин се спротивставуваат на високите температури. На пример, некои видови од овие стакла се составени од два слоја на калено стакло, или од две калени стакла и едно обично меѓу нив. Овие елементи се врамуваат во посебни метални рамки, а празниот простор меѓу стаклата се исполнува со специјална безбојна, провидна материја. Во моментот на пожар, овој материјал на температура повисока од 120 °C почнува да преминува во пена. При тоа, стаклото станува непровидно, и бидејќи створената пена е термоизолационен материјал, ваквите стакла овозможуваат комплетна заштита од пожар (го задржуваат пламенот, димот, отровните гасови и радијацијата) во траење од **30-90 минути**, зависно од бројот на меѓуслоевите. Овие стакла имаат поголема дебелина, дури и до 7.5см, а освен пожарна заштита овозможуваат и одлична заштита од бучава.

Табела 15.2. Видови на термоизолациски стакла

<p>стандардно изолационо стакло</p>  <p>4mm 8mm 4mm</p> <p>$u=2.9W/m^2K$ $R_w=29dB$ $T_1=80\%$</p>	<p>изолационо стакло со заштита од сонце,</p>  <p>4mm 8mm 4mm</p> <p>$u=1.6W/m^2K$ $R_w=29dB$ $T_1=66\%$</p>	<p>изолационо стакло со заштита од сонце,</p>  <p>4mm 8mm 4mm</p> <p>$u=1.6W/m^2K$ $R_w=29dB$ $T_1=40\%$</p>	<p>бојадисано или орнаментно стакло заштита од поглед</p>  <p>4mm 8mm 4mm</p> <p>$u=2.9W/m^2K$ $R_w=29dB$ $T_1=80\%$</p>
<p>стакло за надворешна изолација, со заштита од пукање</p>  <p>6mm 6mm 4mm</p> <p>$u=3.0W/m^2K$ $R_w=31dB$ $T_1=80\%$</p>	<p>изолационо стакло за заштеда на енергија</p>  <p>4mm 16mm 4mm</p> <p>$u=1.3W/m^2K$ $R_w=30dB$ $T_1=79\%$</p>	<p>стакло за изолација од бука</p>  <p>4mm 12mm 8mm</p> <p>$u=2.9W/m^2K$ $R_w=38dB$ $T_1=80\%$</p>	<p>трослојно изолационо стакло за заштеда на енергија</p>  <p>3mm 8mm 3mm 8mm 3mm</p> <p>$u=1.9W/m^2K$ $R_w=32dB$ $T_1=72\%$</p>

R_w –звучно изолациона моќ; T_1 – процент на поминување на топлина

15.5. Производи од стакло

Денес, во градежништвото се користат најразлични елементи од стакло кои може да бидат полни или шупливи, просирни или непросирни и обоени или безбојни.

Во палетата производи меѓу најчесто применуваните се: стаклени ќерамиди, плочи и плочки за обложување, полни и шупливи тела, шупливо стакло, стаклена волна и друго.

(1) Ќерамиди-стаклени се произведуваат со исти димензии и облик како и обичните керамички ќерамиди, така што може да се употребуваат во

комбинација при покривањето на извесни делови од кровните површини овозможувајќи осветлување на таванските простории и подпокриви.

Стаклените ќерамиди може да бидат со глатки или избраздени површини и се обликуваат со извлекување и пресување. После пресувањето формираните производи повторно се загреваат и се оставаат да се ладат постапно.

(2) Стаклени плочи и плочки: Служат за обложување на вертикални и хоризонтални површини.

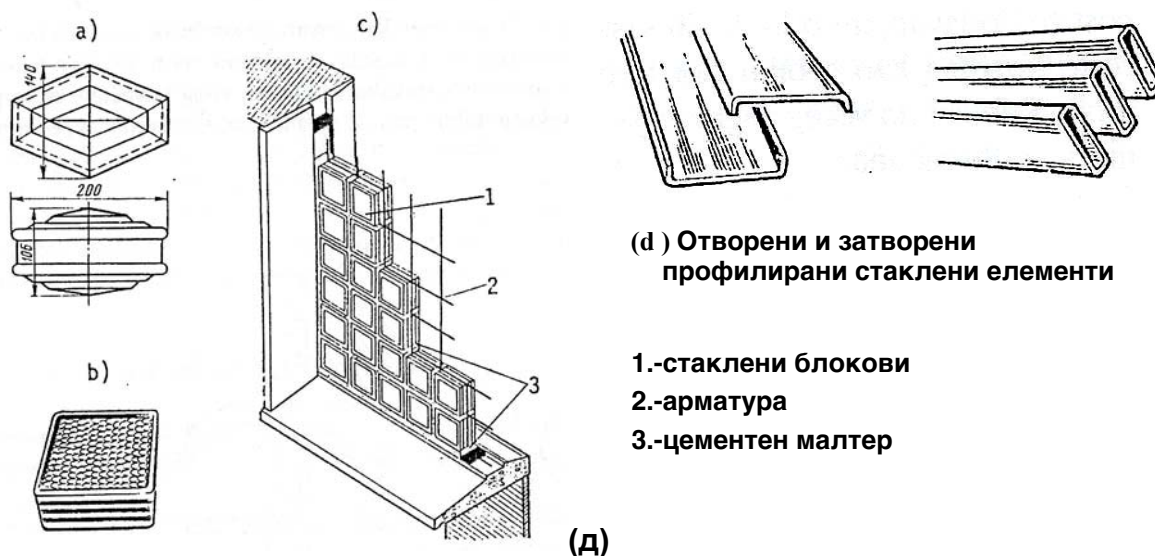
Плочите за обложување на ѕидови се обликуваат со лиење и пресување во калапи. Долната половина од калапот има вдлабнување во вид на крст, така што на готовиот производ се образуваат вкрстени ребра кои служат за полесно и подобро спојување со подлогата од цементниот малтер.

Плочките за подови имаат специјално обработени видни површини, избраздени и рапави, со цел да се избегне лизгањето. Често се изработуваат од стакло во кое намерно се предизвикува кристализација, добивајќи на тој начин матни, непровидни плочи со голема јакост.

Освен овие плочи и плочки, кои имаат исти димензии како и керамичките се изработуваат и специјални мали елементи **мозаик плочки** за обложување на внатрешни ѕидови и столбови, а исто така и големи плочи за обложување на фасади, т.н. фасадно стакло.

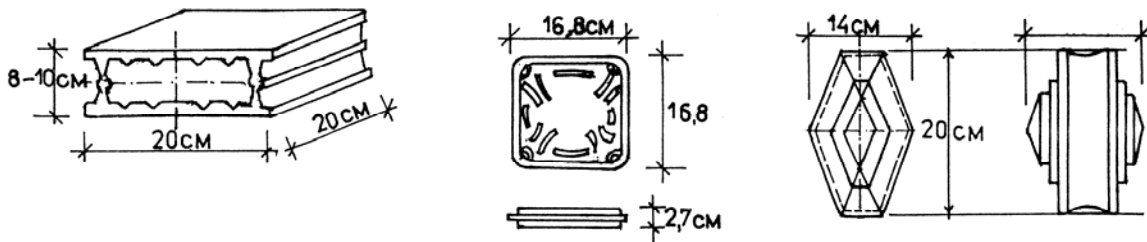
Фасадното стакло може да биде рамно плочесто стакло со дебелина 5÷6mm или фино полирано стакло со дебелина до 12 mm. Се изработуваат со димензии 4,5x3,5m, обично се обоени, а може и армирани, не се лепат на фасадата туку се поставуваат во специјални рамки во кои се уфрлени посебни гумени траки обезбедувајќи на тој начин и доволна топлинска изолација.

(3) Стаклени полни и шупливи плочи: Се обликуваат со лиење и пресување или дување. Имаат најразличен облик, Сл. 15.11. Се користат за изработка на проѕирни преградни ѕидови, Сл. 15.10 (с), (кои треба да пропуштаат светлина) и меѓукатни конструкции, кои освен што треба да ги примат надворешните сили, обликот на телата е така формиран да со поволно прекршување на светлината овозможуваат и добро осветлување на покриените простории.



Сл. 15.10 Накои производи од стакло кои се користат во градежништвото

Некои типови на стаклени плочи и блокови за преградни ѕидови се произведуваат со лиење во две половини кои во топла состојба се спојуваат, потоа постапно се загреваат и рамномерно се ладат, Сл.15.11.



Сл.15.11 Стаклени шупливи и полни плочи и тули

Се произведуваат и елементи од **лиено профилирано стакло** познато под различни трговски имиња (Профилит, Формалит, ид р.). Тоа се посебна врста на отворени и затворени профили, Сл. 15.10 (d), кои се користат за еднослојно или двојно застаклување на спортски сали, базени, индустриски и земјоделски објекти, скалишни простори и др.

(4) Плочи од шупливо стакло: Масата на шупливото стакло е составена од голем број на помали и поголеми шуплини, кои се добиваат на два начина. Најчесто шупливото или т.н. “пена”-стакло, кое се употребува како топлински изолатор, се произведува на тој начин што во обичното стакло се додава мала количина **чист јаглород-С**, а потоа се врши загревање. На температура на размекнување јаглородот преминува во гасовита состојба, а стаклото добива шупликава структура. Со лиење на ова стакло можно е да се добијат плочи со различни димензии, мала тежина, кои лесно се сечат и монтираат.

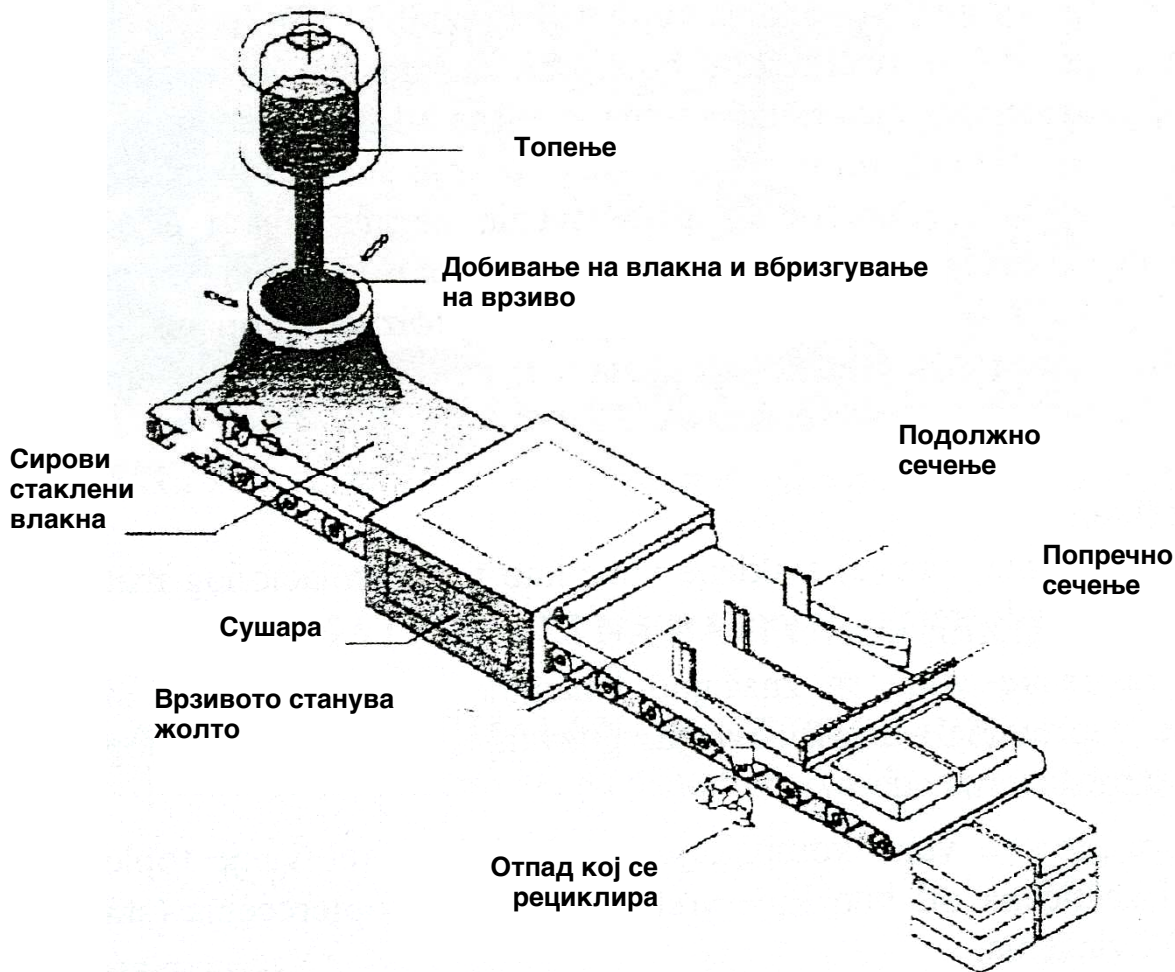
Шупливото стакло има волуменска маса од **160÷200 kg/m³**, на впива вода, не трули, не мувлосоува и не влијае штетно на другите материјали со кои се врзува, тоа е постојан и траен градежен материјал. Коефициентот на спроведување на топлина зависи од шупливоста и се движи **$\lambda=0,02\div0,18 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$** .

(5) Стаклени влакна и стаклена волна: Суровините за производство на стаклена волна и стаклени влакна се комбинираат од стаклен крш и основните компоненти за добивање стакло, кварцен песок, варовник, сода и др. Во поново време, се користи крш од прозорско стакло и амбалажа. Учеството на **стаклениот крш** во составот на суровината се движи од **30-60%**, а во поодделни фабрики и до **80%**.

Технологијата на производство на стаклената волна е слична со онаа на камената волна. Се состои од две фази:

- добивање на растопена стаклена маса, **T=1200-1350 °C** ,и
- добивање на тенки стаклени влакна.

Технолошкиот процес за производство на стаклена волна, од топење на суровината до конфекционирање, т.е сечење на готовиот производ во вид на плочи со различна густина и одредени димензии е илустриран на Сл. 15.12.



Сл. 15.12 Технолошки процес за добивање на стаклена волна

Млазот на течното стакло може да се распрсне во релативно кратки, но многу тенки влакна на повеќе начини. Најмногу е распространета постапката на **Hager** (центрифугална постапка), кога растопената стаклена маса се пушта да паѓа на специјална назабена шамотна плоча која ротира со брзина од **3000-4000** вртежи/минута, и на тој начин се создава голема центрифугална сила. Поради ударот и големата брзина на вртење на плочата млазот од стакло се распрснува во тенки влакна со дебелина од **20 μm** и релативно мала должина до 30-50mm. Распрснувањето и насочувањето на влакната се потпомага со специјални ножеви низ кои струи компримиран воздух, при што влакната се испреплетуваат меѓусебе заробувајќи повеќе од 98% воздух.

Вака добиената растресита, “сурова” стаклена волна, денес многу поретко се употребува како термоизолационен материјал заради нејзините специфични недостатоци:

- значително намалување на квалитетот при транспорт и складирање, заради намалување на волуменот предизвикано од згуснување, туткање, кршење на извесен број на влакна и преминување во прашина;
- вградувањето бара ангажирање на голем број работници, бидејќи неможе да се користи никаква опрема, а при тоа истите мора да

бидат заштитени од непожелните дејства на влакната, повреда и дразба на кожата предизвикувајќи осот, црвенили и чешање;

- промена на структурата и својствата во текот на експлоатација во конструкциите заради самозгуснување заради евентуални вибрации и влажење.

Овие недостатоци, делумно или во потполност се елиминираат кога при формирањето на влакната се вбригуваат врзива, најчесто на база на полимери, т.н синтетички смоли, со кои се овозможува слепување на влакната и нивно импрегнирање. Од оваа стаклена волна понатаму се изработуваат финални производи за топлинска и звучна изолација, како што се гајтани, профилирани шупливи цевки, таканаречени душеци прошиениени со друг материјал, и др.

При конфекционирањето на стаклената волна во вид на **плочи**, кои може да бидат со различна густина и дебелина, меки, полутврди и тврди, крутоста на производите, непроменливоста на обликот и еластичноста, се постигнува со тоа што во растреситата стаклена волна се додадаат различни врзива од органско или неорганско потекло. Изборот на видот на врзивото е во функција од видот и својствата на производот. Во зависност од намената, плочите може да бидат каширани, залепени на алуминиумска фолија, на специјална натрон хартија, на стаклена мрежичка, или на стаклен воал.

Стаклената волна се употребува за топлинска изолација на бродови, вагони и други возила, резервоари и сушилни, парни котли и разни цевки, фрижидери за конзервирање на храна и друго.

Во градежништвото се користи за **топлинска изолација** на ѕидови, плафони и меѓукатни конструкции, подови. Во **хидроизолациите** се употребува во комбинација со **битумен** или **импрегнирана**, или како слој за одвојување на подлогата и изолацијата.

Заради големиот **коэффициент на апсорпција на звукот**, кој изнесува **преку 70%**, стаклената волна се користи за намалување на непожелните шумови и бучавата, за корекција на звукот и за потполна акустична заштита на објектите. Се применува при изведување на пливачките подови за **апсорпција на ударниот звук** во меѓукатните конструкции. Притоа мора да се внимава да се употребат плочи со соодветна носивост и се препорачува над нив да се изведе лесно армирана цементна кошулка со минимална дебелина од 4 см.

Стаклената волна има слични **својства** со камената волна.

- **Волуменската маса** се движи во граници од $\gamma=60-80 \text{ kg/m}^3$.
- **Коефициент на спроведување на топлина** не ја преминува вредноста од $\lambda=0,041 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Треба да се нагласи дека **1 m³ стаклена волна**, т.е **1000 литри вклучува во себе 960 литри потполно мирен воздух**, кој претставува главен отпор на поминување на топлината, додека **количината на стаклото изнесува само 40 литри**. Количината на топлина што се пренесува со зрачење сведена е на минимум заради глатката површина на влакната. Токму затоа стаклената волна е одличен топлинско-изолациски материал. Колку за илустрација, **слој од стаклена волна со дебелина од 3.5 cm**, е еквивалентен на слој од **15 cm дрво**, **26 cm шуплива тула**, **45 cm полна тула** и **95 cm бетон**.

- Стаклената волна **не е запалива и отпорна на високи температури**. Како изолатор може да се употреби во конструкции во кои температурата варира од **-60 °C до 600 °C**.
- Не е подложна на **гниење** и не впира влага.
- Отпорна е на дејство на **киселини**, освен на флуороводородната киселина.
- Нема никакво хемиско влијание на другите материјали.

Стаклените влакна се добиваат со извлекување. Исто како и стаклената волна и стаклените влакна се добиваат од стаклен крш, отпадоци од стакло, кои претходно се прочистени и измиени, потоа се топат во електрични печки на 1200 °C и доволно течната маса се пушта да минува низ многу мали отвори, дизни, претворајќи се во тенки нишки кои се намотуваат на барабан сместен под печката. Кога барабанот е доволно намотан се врши отсекување во правецот на изводниците и на тој начин се добива стаклен воал од стаклени влакна со должина од 3m.

Стаклените влакна се доволно еластични и затоа се користат за изработка на различни елементи: платна, гајтани, стаклен воал и сл.

Јакоста на затегнување на стаклените влакна е многу голема, во споредба со другите градежни материјали. Зависи од дебелината на влакната и времето на истегнување. Примерно, за влакна со пречник од **d=0,03 mm** изнесува **f_z=600 MPa**, а кај влакната со пречник **d=0,015 mm** до **f_z=1300 MPa**. Многу важно за овој материјал е и тоа што јакоста на кинење не се намалува со порастот на температурата дури и до точката на размекнување.

Од стакленото влакно се изработуваат различни елементи погодни за практична примена во облик на: платна, воал, перници; гајтани; школки за цевки и друго. Стаклените влакна многу често се користат како “арматура” за различни елементи од пластични маси и слични материјали.

(6) Водено стакло е стаклена маса растворлива во вода која се добива со топење на кварцен песок (силициум двооксид) и алкалии (калиум и натриум) кое е пронајдено од 1825 година.

Во индустријата се произведува како:

- **растворно стакло**, кое е во цврста состојба, и
- **раствор**, како **маслена течност**, т.н “водено стакло” или “течно стакло”.

Воденото, т.е. течното стакло, на воздух, под влијание на јаглен двооксидот (CO₂) се распаѓа и слободниот силициум двооксид (SiO₂) се претвора во цврста аморфна маса. Помешан со врзива кои имаат вар гради калциум силикат.

Раствореното стакло се користи за импрегнирање на ткаенини, хартија и дрво, за заштита од пожар, за изработка на разни китови, како додаток на лепаци и друго.

Воденото стакло за прв пат е употребено во градежништвото како заштита од пожар. Неколку премази со течное стакло во кое може да се додадат и други несогорливи материјали (прав од азбест, креда и друго) доволни се потполно да го заштитат дрвото од пожар. Подоцна овој материјал се употребува за изработка на лепак за спојување на камен, за изработка на вештачки камен, а

посебно како премаз за заштита на порозниот варовник од корозија. Исто така се применува за импрегнирање на ткаенини, хартија и дрво. За изработка на мастики, китово и др.

Во поново време течното стакло се додава на цементните малтери и бетони со цел да се добие водонепропусен материјал, отпорен на високи температури.

Ако на цементот отпорен на киселини (кој не е хидраулично врзиво) му се додаде раствор од водено стакло се добива врзиво за припремање на малтери и бетони отпорни на дејство на повеќето, органски и неоргански, киселини, и отпорни на дејството на бази.