

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Данијела Ж. Ристић
Технологија израде композита
и њихова примена у авиоиндустрији
дипломски рад

Крагујевац, 2016.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Динамика

Број индекса: 65/88

Данијела Ж.Ристић

Технологија израде композита и њихова примена у авиоиндустрији дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Гордана Богдановић, доцент
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

у првом делу обради израду композита, детаљно описујући технологије израде. Други део треба да обухвати примену композита у авиоиндустрији(војном и цивилном ваздухопловству).

Оквирни садржај:

Обликовање аутокалавом

Намотавање филамената

Пултрузија

Процеси ручног полагања

Обликовање убризгавањем

Примери употребе композитних материјала у ваздухопловству

Препоручена литература:

[1] Др Драган Милосављевић, Влакнима ојачани композити у аутомобилској индустрији, зборник радова

[2] М. Јовановић, В. Лазић, Д. Арсић, Наука о материјалима I (рукопис), ФИН Крагујевац

[3] Leslie N Phillips, Design With Advance Composite Materials, The Design Council, London

Крагујевац, датум

Ментор:
Др.Гордана Богдановић, доцент.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Израда композитних	
Материјала.....	3
2.1.0 Композитни материјали.....	3
2.1.1 Техника „цурења“ у калуп.....	5
2.1.2 Обликовање компресијом помоћу високог притиска.....	6
2.1.3 Обликовање аутоклавом.....	7
2.1.4 Вакуум кутија.....	10
2.1.5 Вакуумско обликовање Durestosa.....	12
2.1.6 Распршивање.....	13
2.1.7 Намотавање филамената.....	15
2.1.8 Пултрузија.....	17
2.1.9 Убризгавање смоле.....	18
2.1.10 Процеси ручног полагања.....	20
2.2.0 Обликовање ојачане пластике.....	23
2.2.1 Обликовање убризгавањем.....	23
2.2.2 Техника слагања филма.....	24
2.2.3 Препрег материјали за ПЕЕК.....	27
2.3.0 Раздвајачи.....	27
2.3.1 Филм форматори из раствора.....	28
2.3.2 Филм форматори од уља, сапуна и воска.....	29
2.3.3 Полимерни калупи и плоимерни филмови.....	30
2.4.0 Дорада композита.....	31
3. Прмена композитних материјала у авиоиндустрији.....	33
3.1.0 Аеродинамика.....	33
3.2.0 Примери употребе композитних материјала у ваздухопловству.....	34
3.3.1 Карактеристике Glare ламината.....	44
3.3.2 Контрола и поправка Glare ламината.....	45
3.4.0 Употреба композита у изради Boeing 787 Dreamliner авиона.....	45
3.4.1 Материјали.....	46
3.5.0 Револуција композитних материјала.....	47
3.6.0 Смањење трошкова одржавања летилица услед примене композита.....	48
3.7.0 Ризици и проблеми коришћења композита.....	49
4. Закључак.....	51
5. Литература.....	53

1. УВОД

Велики напори су учињени при проналаску материјала који су лаки, велике отпорности, као и великог модула еластичности, што је довело до развоја композитних материјала. За примену идеалан материјал би требало да буде јак, жилав и лак. Уз то је битно да цена материјала буде што нижа. Идеалан материјал би се постигао комбиновањем два материјала са комплементарним особинама. Композитни материјал би требало да има комбиноване предности материјала од којих је састављен. Може да настане комбиновањем два или више материјала, при чему се добије нови материјал чија својства могу да се контролишу. Ови материјали имају побољшане особине у односу на њихове саставне делове и то најчешће механичке, као што су чврстоћа, крутост, жилавост, затим отпорност на спољашње утицаје, температура, влага, хемијски агенси, абразивна дејства и повећану трајност.

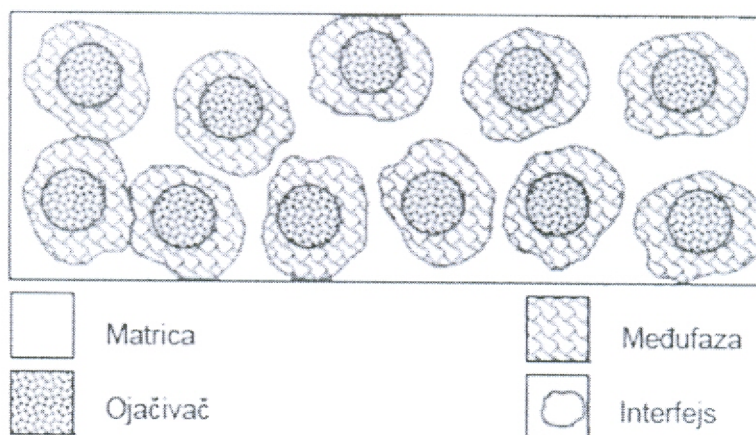
Композитни материјали имају велику чврстоћу, малу масу, добра антикорозивна својства, лаку обрадивост, малу топлотну проводност и веома изражене анизотропне особине. Најчешће се користе у ситуацијама када је пожељно да конструкција има делове који имају такве механичке особине које не би могле да се постигну конвенцијалним материјалима.

Композитни материјали су заменили метале, због своје отпорности на корозију и мале тежине пластике, у многим применама у индустрији моторних возила и авиоиндустрији. Ови материјали се деле у две основне групе: термостабилне и термопластичне. Подела је заснована на карактеристикама њихове прераде.

Композити, опште гледано, покривају најширу област могућих особина. Њихове особине се пројектују према специфичним захтевима. Композитни материјали су систем материјала који се састоји од смеше или комбинација два или више нано, микро, или макро конституената који се разликују по облику и хемијском саставу и који се у суштини не растварају један у другом. Материјал се сматра композитом ако задовољава следеће услове:

- мора бити вештачког порекла
- мора поседовати својства која нема ни једна од конституивних фаза
- мора се састојати од најмање две фазе са јасном границом раздвајања између фаза
- облик и расподела фаза треба да буду унапред дефинисани

На слици 1. Приказана је типична структура композитних материјала



Слика 1. Структура композитних материјала [2]

У овом раду је посебна пажња поклоњена различитим техникама фабрикације композитних материјала као и примени композитних материјала у авиоиндустрији.

2. ТЕНОЛОГИЈА ИЗРАДЕ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА

Током протеклих 40 година, више од десетак метода ливења је створено и ушло у примену у индустрији. Поучно је да се опише свака, почев од најједноставнијих до оних доста комплексних.

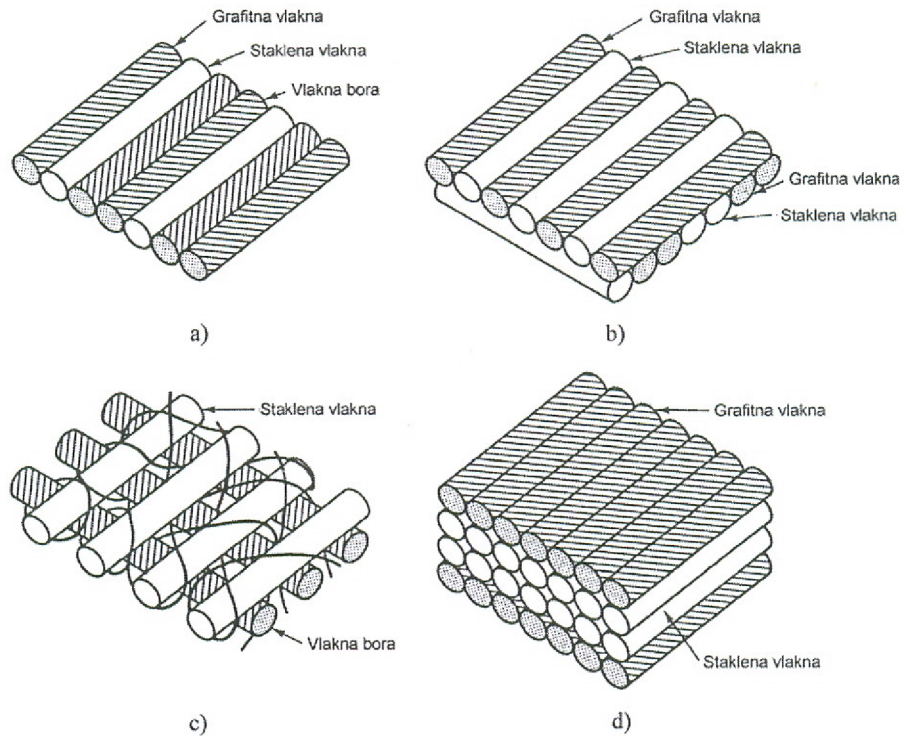
2.1.0 Композитни материјали

Сваки композитни материјал са састоји од ојачавача (пуниоца), орјентисаном у одређеном правцу и матрице (основе), која служи као везивно средство. Матрица која повезује ојачавач (vlakнасти или зрнасти) у заједничку структуру, обично је од термоактивних смола (епоксидне, полиестарске, фенолне).

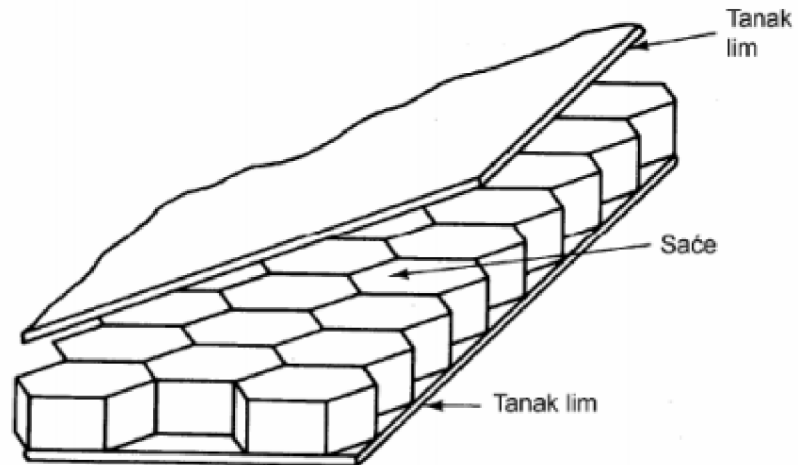
У зависности од врсте пуниоца, разликујемо композите са зрнастим пуниоцима и композите са vlakнастим ојачивачима. Код композита са зрнастим пуниоцима, матрица је обично полимерна мада може бити и керамичка и метална. Поред честица велике тврдоће (Al_2O_3 , SiO_2 , самлевеног кречног камена, стаклених куглица, користе се и љуспасти облици: стаклена вуна, самлевени лискун). Лоптасти пуниоци дају изотропне а љуспасти анизотропне композите. Много већу примену имају композити са vlakнастим ојачањима. [7]

Улога vlakана је да се повећа јачина и крутост (модул еластичности E) пластичне матрице од полиестарске или епоксидне смоле. Оцена коришћених vlakана (стаклених, угљеничних, арамидних (Кевлар) и борних) доноси се на основу односа модула еластичности и густине (E/ρ) као и односа јачине на кидање и густине (R_m/ρ). [7]

Vлакна која се користе за ојачиваче могу бити: угљенична, стаклена, арамидна и vlakна од бора. Слика 2.0 показује распоред vlakана за ојачавање у структури композита.



Слика 2.0 Распоред влакана за ојачавање: а) једнослојно слагање, б) слагање у слојевима (ламинат), с) слагање преплетањем, д) селективни размештај [7]



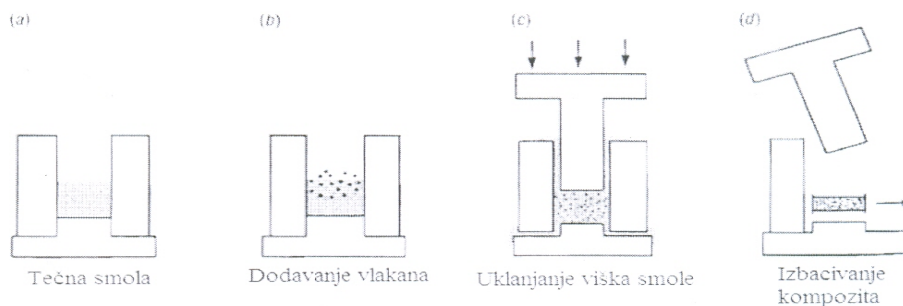
Слика 2.1 Сендвич композита структура [8]

2.1.1 Техника „цурења“ у калуп (угљенична влакна и хладна-поставка смоле)

Апарат се састоји од отвореног металног корита са олабављеним горњим алатом који је у облику слова Т у попречном пресеку. Зазор од око 0,05 mm (0.002 инча) је дозвољен између доњег и горњег алата.

Такође је потребно неколико грама угљеничних влакана у облику равне кучине и око три пута веће количине, нисковискозне течне хладно-постављене смоле. Дobar избор су епоксидна или смола од полиестера.

Пошто је калуп лагано обложен стеарат машћу, одвајајућим средством, количина свеже катализоване смоле са временом трајања од око 20 минута (дуже за епоксидне смоле, око 50 минута), се сипа на дно калупа у који је додата измерена и ишчешљана количина влакна. Смола постепено влажи пакет влакана, могу се видети мехурићи ваздуха како долазе са врха. Након десетак минута, горњи део калупа се ставља преко низа а велика тежина се балансира на врху. Апарат сада делује као филтер преса, влакна су заробљена, али вишак смоле бежи из крајева корита у зазор између горњег и доњег дела алата (слика 2.2).

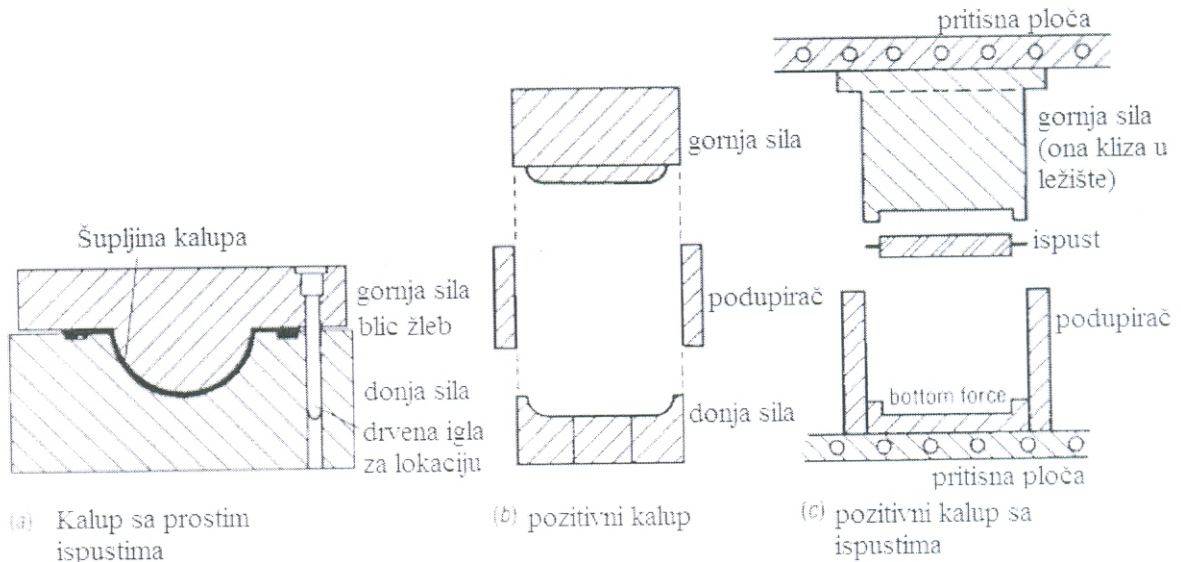


Слика 2.2 Техника изливања у калупе [2]

Након што се стврдне смола, калуп може да буде отворен и гладак правоугаони примерак са паралелним странама може бити уклоњен. Лако се могу подесити димензије комада који је погодан за механичка испитивања. Могуће су различите комбинације у испитивању. На пример, калуп може бити постављен на лабораторијску топлу плочу прилагодљиву за мала подешавања или постављен у ваздушну рерну да се убрза очвршћавање. Друга алтернатива је употреба калупа са вишеструким дном. Ако има довољно материјала, може се направити серија од осам примерака, при чему тежина влакана у свакој шупљини мора бити иста. Ако дебљина примерака мора бити поновљена у узастопним серијама, калуп треба затворити до механичког заустављања.

2.1.2 Обликовање компресијом помоћу високог притиска

Ово је стандардна техника високог притиска која се користи од раних дана фенолне смоле. Као алат се користе челични калупи постављени у хидрауличну пресу. На слици 2.3 дат је изглед калупа за обликовање под притиском.



Слика 2.3 Изглед калупа за обликовање под притиском. Једноставан блиц калуп ће уклонити вишак материјала боље од осталих конструкција, које захтевају прецизно измерено пуњење. [2]

Користе се три врсте калупа:

- 1) **Блиц калуп**: Ово је најједноставнији тип, састоји се само из два дела – горњег и доњег оптерећења. Обично су фиксирани на горњу и доњу притисну плочу при чему примају топлоту која се проводи. Велике компоненте могу имати додатно електрично грејање. Благи вишак обликованог материјала се налази у доњој половини калупа. Калупи се заједно спуштају под високим притиском 14МПа. Сви вишкови материјала су истиснути у блиц жлеб као танки порозни блиц који је касније уклоњен (слика2.3а).
- 2) **Позитивни калуп**: Има минимум три дела. Поред горњег и доњег оптерећења постоји и околни тешки учвршћивач у коме се оба оптерећења прецизно уклапају. Доње оптерећење је фиксирано са околним учвршћивачем али горњи део је у стању да гура на доле, узрокујући пуну снагу пресе, потребну

за пуњење калупа. Веома је важно прецизно одмерити пуњење јер ће у супротном постојати разлике у дебљини између компонената (слика 2.36).

- 3) Позитивни блиц калуп: Дизајниран је тако да комбинује карактеристике предходна два. Као и у блиц калупу, горње и доње оптерећење дефинишу компоненту, али се обе половине налазе у дубоком околном учвршћивачу тако да пуњење за калуп добија пуни притисак док се шупљина потпуно не попуни. Као и досада, а посебно када се производи више утисни калуп, потребно је да се у свакој шупљини налази иста тежина пуњења (2.3ц).

Олик компоненте и карактеристике обликовања сваке смола-vlakно комбинације одређује који тип дизајна калупа је најприкладнији. На пример, Ролс-Ројс је први применио комбинацију стаклено vlakно-епокси препрег. Епоксидне смоле су слободно протицале само када су вруће, па је створена одредба да се користи благи вишак материјала, са вишком течења у дубоке испусне жлебове. Такође су се појавиле тешкоће у елиминисању празнина унутар компоненти и дисторзија појединих влакана на неким ролнама препрега. Када су се појавили захтеви за побољшане високо-температурске карактеристике, епоксидна смола је замењена са бис-малеимид смолом Керамид 601.

Препрег је био осушен до ниског садржаја заосталог растварача (што даје најбољу топлотну стабилност), ово је дало сув и потпуно лепљив материјал. Препрег је затим исечен на „секачу за пециво“, фигуре загрејане до 125 °C стављене у две половине на плитким тацнама. Након лепљења две половине заједно са минимумом смоле, склоп је обликован на релативно високом притиску од 6.9 МПа у позитивном калупу држаном на 175°C.

Употребом врло високог притиска и ограниченог протока, дисторзија влакна је избегнута. У овом случају водећи принцип је да се произведе компонента у великим количинама, које би требало да настају из калупа што ближе завршној и исправној величини. Посебно је интересантно прекривање алата слојем метала када је потребно одржавање димензија. Само обликовање је високо брзинска доста једноставна операција.

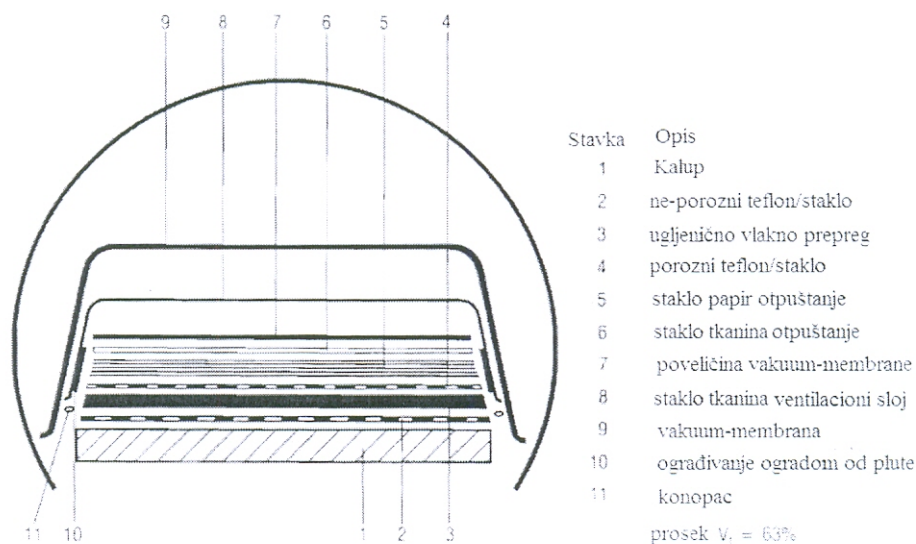
2.1.3 Обликовање аутоклавом

За велике компоненте метод аутоклав је готово универзалан, нарочито где су потребне дупле кривине и најквалитетније калуповање.

Аутоклав је цилиндрична посуда под притиском која може да ствара притисак од неколико атмосфера. Такође је опремљена са средствима за производњу вакуума у

оквиру било које херметички затворене мембране постављене у посуди, тако да се испарљиве материје као што су растварачи или водена пара могу уклонити. Грејањем у великој мери управљају електрични грејачи који загревају атмосферу (најчешће азот), а то преноси топлоту на термореактивне полагаоче конвекцијом и провођењем. Пруга транспортује калупе у и ван апарата. За обликовање аутоклавом је потребно неколико помоћних материјала; њихове позиције су приказане на слици 2.4.

Полагач се ставља наспрам површине калупа и подржан је са порозним филмом средства за раздвајање и „испуштајућим слојем“ стаклено-влакнасте тканине или стаклено-влакнастог папира. Ово омогућава да се апсорбује вишак смоле који измиче из калупа. Тамо где је смола довољна да попуни празнине између свих влакана без претеривања, примењује се техника позната као „нула-испуштање“. Ван „испуштајућег слоја“ је притисни прекривач који преноси притисак из унутрашњости ауто клава до унутрашњег полагача. Околна ивица полагача је брана која спречава ширење у страну и делује као вакуум канал.



Слика 2.4 Обликовање аутоклавом. [2]

Карактеристика епоксидних смола је да постоји оштар пад вискозитета када се температура у почетку подигне изнад 40-50 °C. Од ове тачке па надаље, може се јавити проток смоле. Наставак грејања ће довести до повећања вискозности праћеног изненадним гелирањем. Онда нема даљих протока, само настављање хемијског унакрсног повезивања система смоле. Ово је такозвани поступак балансирања у аутоклаву. Преурањена гелирања производе ламинате који су превише густе и имају

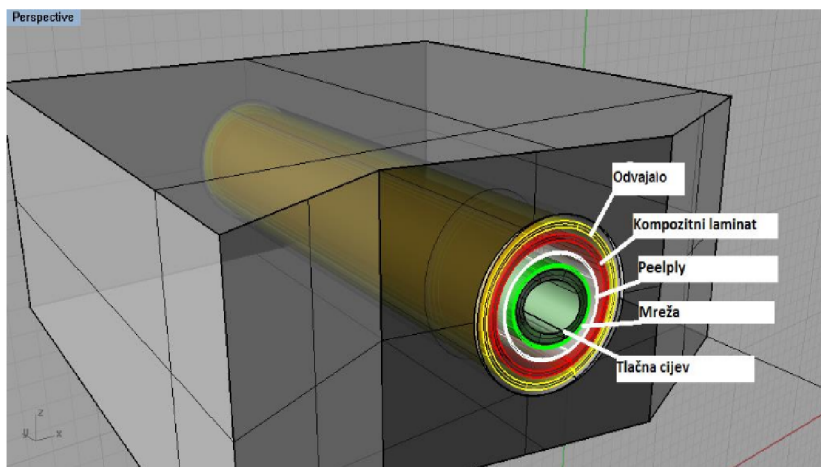
вишак смоле, док претерани проток смоле може довести до осиромашеног ламината са високим садржајем празнина.

Покушаји да се прате промене у вискозности смоле док је полагач унутар аутоклава нису били врло успешни, иако симулатори могу пратити такве промене „ин витро“ у присуству температурних повећања али у одсуству притиска. Познато је да повећавајући притисак унутар аутоклава повећавамо проток топлоте до ламината и убрзавамо гелирање матрице.

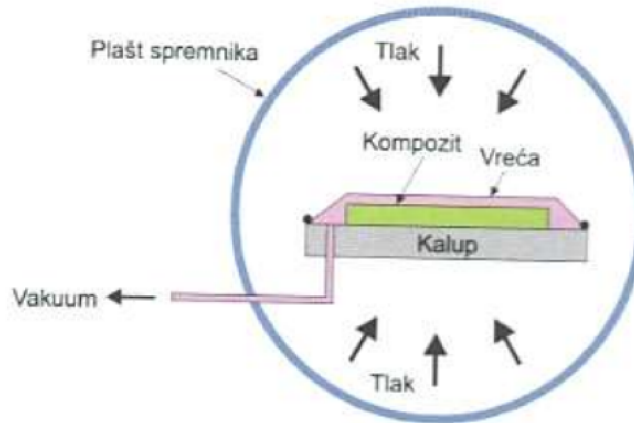
Типичан циклус обликовања би изгледао овако:

- 1) Вакум је примењен и температура расте.
- 2) Постоји дуже или краће временско „задржавање“ на константној температури да би проток смоле био са малим очвршћавањем.
- 3) Притисак се примењује на аутоклав и температура се оставља да расте. Гелирање се јавља за сат времена.
- 4) Температура и притисак се одржавају константним до краја очвршћавања-приближно око 2-3 сата.
- 5) Грејање је искључено и обликовање је остављено да се хлади до собне температуре. Током фазе хлађења потребно је одржавати одређен притисак.

Укупно време потребно да се заврши циклус очвршћавања од „пода до пода“ је око 5 сати.



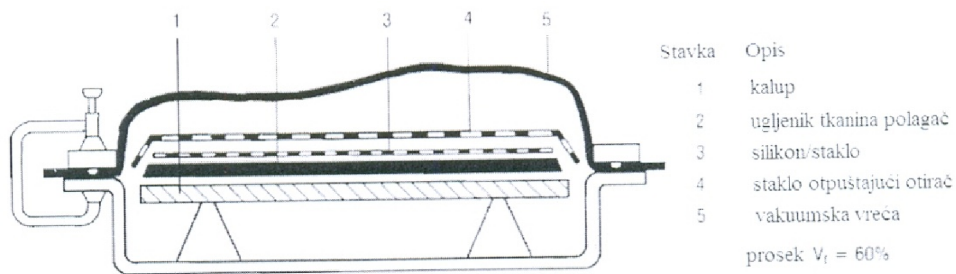
Слика 2.5 Калуп за производњу бицикличких делова у аутоклаву [6]



Слика 2.6 Шематски приказ умрежавања у ауто клаву [6]

2.1.4 Вакуум кутија (угљеник, стакло, армидне са полиестером и епоксидне смоле)

Због трошкова аутоклава и спорих временских циклуса које намеће индиректно грејање, учињени су напори да се поједностави процедура постављањем полагача директно насупрот калупа који су електро загревани и обликовањем само притиском вакуума (до 100 МПа). Апарат, развијен у "R.A.E. Farnborough", приказан је на слици 2.7.



Слика 2.7 Обликовање помоћу вакуум кутије [2]

Састоји се од дубоке фиоке у оквиру које се поставља врућа плоча. Кутија је конструисана од стакло/полиестер смоле, укрућене са графитним ребрима влакана широм базе. Горња ивица кутије је снабдевена прирубницом која носи периферне жлебове са силиконским гуменим прстеновима О-пресека. Прстенови служе за

заптивање између кутије и вакуумског покривача. Притисак се преноси на О-прстенове преко лакних легура које задржавају оквир причвршћеним преко покривача и насупрот прирубници, са брзо реагујућим стегама. Електрична топла плоча користи лист угљеничне-влакнасте тканине као елемент за грејање. Улазни и излазни путеви за струју су обезбеђени путем сендвича крајева спроводног слоја између контакта трака од бакра и постављени између листова стакленог отирача и тканине. Склоп је тада топло обликован у хидрауличној преси, употребом високотемпературног епоксидног система Епикот 828-метил надик анхидрида-бензил диметил амина.

Након пост-очвршћавања топла плоча је завршена лемљењем бакарних редних стезаљки на изложене ивице контаката на сваком крају панела. Када се чист калај користи као лем, коначне температуре све до 230 °C се могу поднети без оштећења. Дистрибуција температуре преко топле плоче је рационално униформна. Стопа загревања је 5°C по минути, а контрола се врши уз помоћ трансформатора.

Препрег и влажни полагаач се могу користити у вакуумској кутији. Изнад полагача су постављени нормални помоћни слојеви појединачних тканина (порозног) испуштајућег слоја, вакуумска-испуштајућа тканина и непропустљиво вакуумско ћебе затим, 50mm дебео слој стаклене вуне како би се сачувала топлота. Вишак смоле, која је истиснута из влажног полагача се једноставно уклања. Топла плоча је постављена на истом нивоу као прирубница подизањем на потпорну јаје-кутија конструкцију. Намеран међупростор између топле плоче и прирубнице је премошћен обрнутим каналним одељком. Горњи одељак је перфориран са рупама за дренажу. Сва смола није узета од стране испуштајућег слоја који се улива директно у рупе за дренажу, па остаје на дну кутије где се стврдне. Пошто су унутрашње површине претходно обложене одвајајућим средством, ови смоласти остаци се лако уклањају.

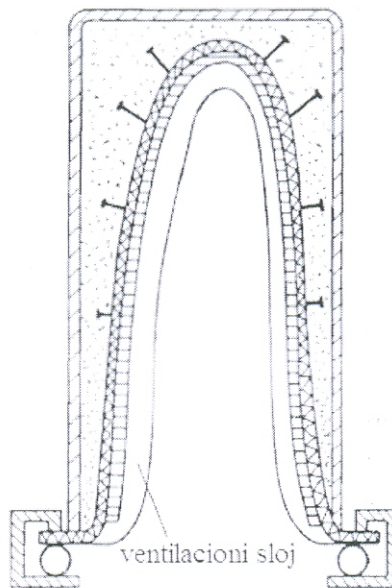
Обликовања са дуплим кривинама су прилагођена употребом калупног одливања са епоксидним смолама и напуњена грануларним алуминијумом у праху. База одливања је положена равно и постављена наспрам топле плоче. Силикон-гумено вакуумско ћебе се прави од исплетене најлон тканине и полиестарских влакана, чиме се постиже двосмерно истезање, па се калуп оптерећује без цепања.

Систем вакуумске кутије је јефтин и користан поступак за израду компоненти одличних механичких особина. То се првенствено користи за јачање тканина од полиестера, епокси или винил естер смола. Треба напоменути да код овог поступка запреминска фракција износи 60%, док поступак аутоклав даје запреминску фракцију од 65%.

2.1.5 Вакуумско обликовање Durestosa

Процес је еволуирао из аутоклав и поступка обликовања компресијом високог притиска. Користи се за азбестно-фенолна обликовања.

Вода се подстиче да дође далеко у облику паре чим је формирана хемијском реакцијом (кондензација полимеризација). То подразумева вакуум током процеса очвршћавања, а пошто цела задња страна одливка дише од паре, аранжмани за вентилацију морају бити темељни. Слика 2.8 показује технику.



Слика 2.8 Вакуумско обликовање Durestosa. Вентилациони слој омогућава задњој површини одливка да „дише“. [2]

Durestos калуп, са уграђеним електро-отпорним грејачима је постављен у непропусну челичну кутију. Простор између кутије и љуске одливка је испуњен бетоном. Пре композитног обликовања, на пример крило авиона се поставља испод калупа и оптерећује узастопним слојевима на следећи начин:

1. торба од гумиране тканине, обложена гумом отпорном на топлоту
2. помоћни отирач за загревање, тако да калуповање може бити загревано са обе стране истовремено
3. слој стаклене тканине са неколико зашивених жица термопара
4. слој стаклене тканине који делује као вентилациона путања или нестишљива цев, преко читаве позадине одливка.

Полагач је сачињен од неколико слојева Durestos азбестног/фенолног филца, заједно са језгром облика сендвича од саћа. Премаз четком је примењен на крајњу површину полагача, од воденог раствора метил целулозе који делује као раздвајајуће средство у циљу спречавања међусобног заваривања калупа и калуповања.

Торба се заптива око обода челичне кутије гуменим цревом.

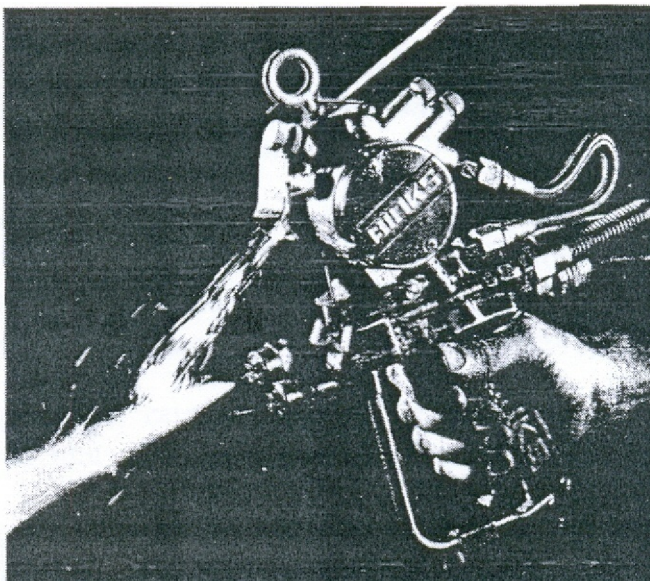
Вакуум се прво примењује, затим се укључује грејање на оба калупа и покривач за загревање. Циклус обликовања траје 4 часа укључујући 1 сат за загревање, 2 сата за очвршћавање на 160°C и 1 сат за хлађење. За то време се одржава вакуум. Треба знати да 50kg пуњења за калуповање производи око 5kg водених хемикалија, тако да је потребна вакуумска пумпа великог капацитета са одговарајућим кондензатором између калупа и пумпе, да заустави сву воду. По природи, такво калуповање ће бити микропорозно.

2.1.6 Распршивање (исецкано стакло или угљеник, са полиестер матрицом)

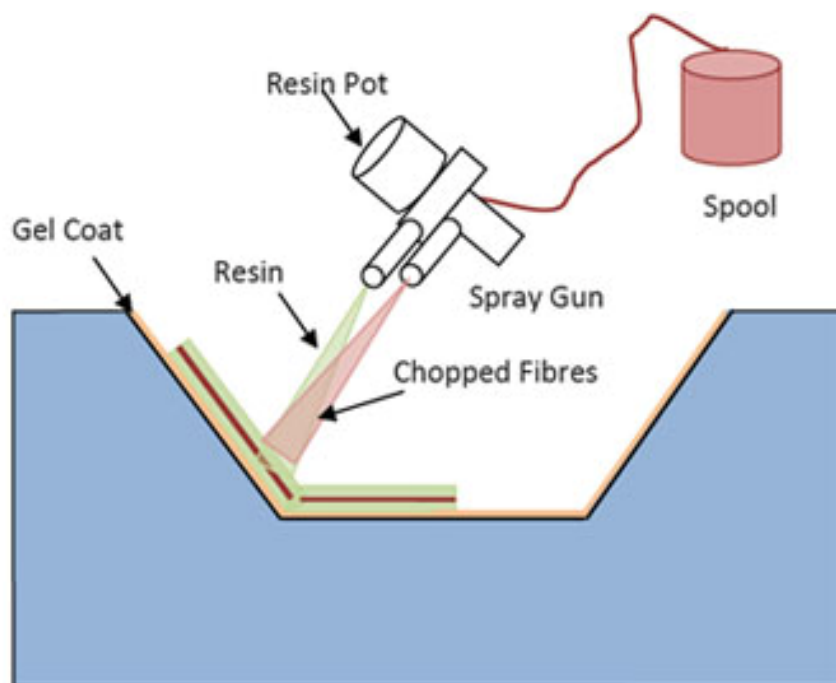
Одличан метод достављања значајне количине влакана и смоле истовремено на површину калупа је техника распршивањем. Може се применити на непрекидно стакло и угљеник, али је од мале користи за арамиде због тешкоћа при сечењу. Секач влакана који се састоји од водича, прима неколико кучина од влакана из корпе које се крећу између два ваљка. Један од ваљака је пресвучен полиуретанском гумом, а други ожлебљен у размацама око обода у смеру паралелном контролној оси, у редоследу да се добије број очврснутих сечива.

Варирањем положаја и броја ножева, дужина реза се може мењати између 25mm и 50mm. Спреј сецканих влакана пролази кроз облак свеже катализоване смоле. Спреј се ствара двоструким спреј-главама позиционираних уз испоруку секача. Две спреј купе су под углом. Исечена влакна, натопљена смолом, посежу на припремљену површину калупа која се поставља око 1m испред. Нагомилавање случајно орјентисаног појачања се одвија брзо. Добар оператер може да нанесе мешавину влакана и смоле 3kg до 6kg у минути. Пошто постоји вишак смоле, заједно са бројним мехурићима ваздуха, неопходно је прећи преко радне површине, пажљиво ручно са ужљебљеним ваљцима, у циљу консолидације распршивања и

отклањања могућих празнина. Ламинати који се производе овим поступком су променљиве дебљине и имају већи број шупљина него при другим техникама.



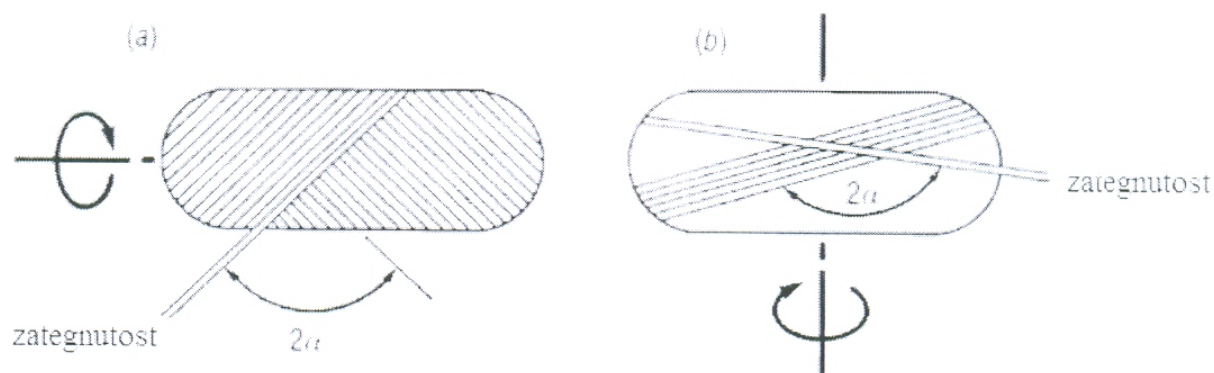
Слика 2.9 Спреј-ап процес коришћењем Maykес пиштоља за прскање под високим притиском [2]



Слика 2.10 Шема процеса распршивања[3]

2.1.7 Намотавање филамената (стакло, угљеник, арамид са полиестером или епоксидном смолом)

Ова техника се може применити на континуално влакно спојено са хладно или топло подешеном смолом. Већина инсталација користи течне смоле нанете на подржана влакна пре него што се намотају на пријемно вретено. Да ли је дозвољено очвршћавање без додатног загревања, загревање на лицу места, или преношење у посебну пећ за топло очвршћавање, зависи од потребне величине и количине. Ређа варијанта је коришћење импрегнираног влакна са одговарајућим системом топло подешене смоле, намотаног у сувом стању које се касније греје. Слика 2.11 показује разлику између обимног и поларног намотавања.



Слика 2.11 Разлика између (а) обимног и (б) поларног намотавања [2]

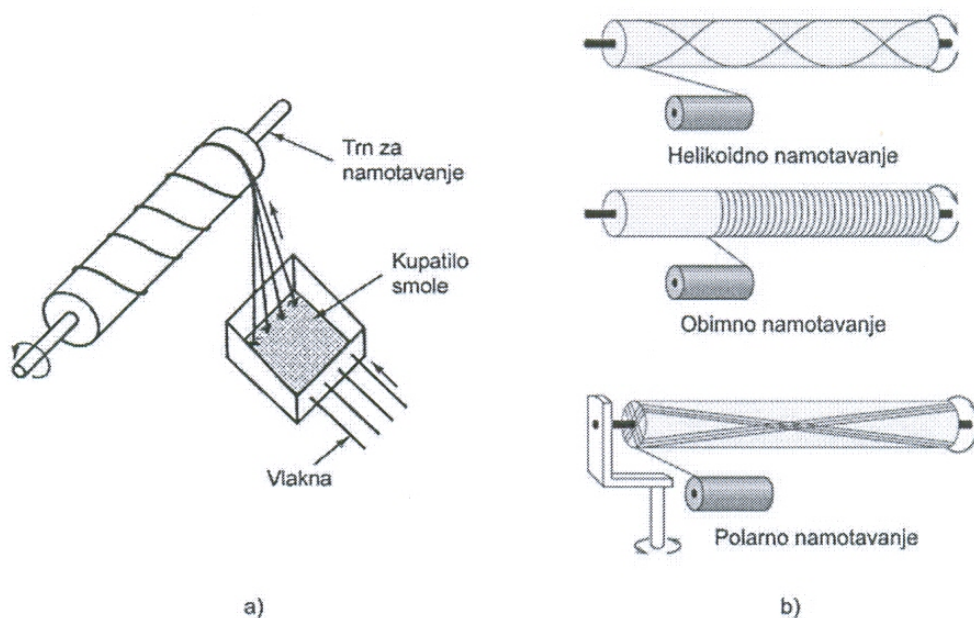
У обимном намотавању кучине из корпе су окупљене заједно, затегнуте и провучене кроз мало купатило смоле, монтиране на носач опремљен колиматором и обртним чешљем. На овај начин, усклађена континуална уска трака од импрегнираног влакна је изобличена на вретену и заузима место обратка на стругу.

Вретено и носач су усмерени заједно, тако да translација носача испоручује влакна под жељеним углом према ротирајућем вретену. Кретање се може програмирати тако да се транспорт аутоматски покреће сваки пут. Аранжмани такође

могу бити направљени да „задрже“ на одређеном месту с краја на крај дужине, или при крају, да би се изградила дебљина са обручем влакана.

Алтернативни образац намозавања је поларни. У овом случају влакно се полаже од краја до краја, тако да крајеви могу да се затворе, дајући, рецимо, полулоптаст облик. Корпа и купатило са смолом се монтирају на заједнички носач који окружује вретено. Вретено је постављено тако да његова оса заклапа мали угао у односу на хоризонталу. Још једном, индексирана ротација вретена је усмерена на транслацију носача око стазе.

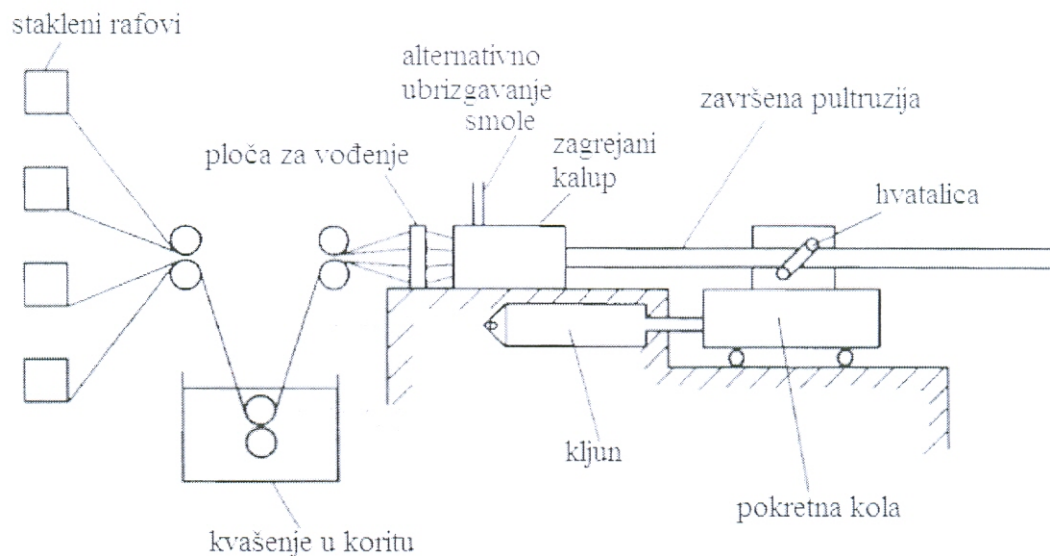
На слици 2.12 представљено је намотавање филамената које се састоји из три фазе: провлачења танких нити ојачивача кроз купатило смоле, изласка нити, њиховог упредања и на крају намотавања на ваљак. Све ове фазе одвијају се континуално, непрекидним довођењем нити, све док се не намота довољно слојева. После очвршћивања везивне смоле, било на собној или повишеној температури, вретено се извлачи па остаје шупљи цилиндар. Овако се праве, посуде за хемијске процесе, судови под притиском, облоге ракетних мотора. [7]



Слика 2.12 а) Намотавање филамената б) Израда цеви од композита [7]

2.1.8 Пултрузија

Пултрузија је назив за технику производње непрекидних делова ојачане пластике где је оријентација влакана претежно аксијална. Име метода је настало да би се направила разлика од оног коришћеног у металној технологији где су одељци креирани присилним истискивањем метала у пластичном стању кроз калуп за обликовање. Пошто велики број влакана импрегнираних са течном матрицом није у стању да се одупре свеобухватном оптерећењу, влакна се транспортују кроз формиран калуп под напрезањем.



Слика 2.13 Шематски приказ машине за пултрузију [2]

Кучине и влакна из корпе у поклапајућим дужинама, заједно довољним отирачем или биаксијалном тканином се бирају тако да дају адекватне попречне чврстоће и крутости. Влакна се воде кроз купатило са смолом и натапају са катализованом течном смолом. На изласку из купатила, арматура пролази кроз низ прстенова за брисање, који постепено уклањају вишак полимера и колимишу влакно пре уласка у калуп. У зависности од величине и сложености компоненте, калуп је загреван у једној или две температурне зоне. У овом задњем случају, прва зона на

нижој температури смањује вискозност и помаже импрегнацији и сабијњу пакета влакана. Друга зона гелира и очвршћава матрицу на вишој температури. Напуштањем калупа и хлађењем, секција је довољно тешка и јака да се може ухватити гуменим подметачима, који је извлаче да би је испоручили прекидном точку, или бубњу за прикупљање великог пречника.

Пултрузија је непрекидни процес све докле год упарене дужине непрекидних влакана у купатилу напајамо смолом. У пракси се предузима значајна организациона контрола и контрола квалитета при стварању пултрузионих залиха електричних и оптичких каблова који се данас доста траже.

Сва континуална ојачана влакна се могу пултрузирати, тако да лако могу бити произведене хибридне конструкције. Такође, даске од шперплоче или ћелијске пластике могу бити унете у калуп, са влакнима на обе стране, па се сендвич панели могу произвести у једној операцији.

Дизајн профила је врло флексибилан, односно чврсте шипке и цевасти одељци се могу направити као кружни, правоугаони, клинасти итд. Можемо закључити да је пултрузија начин производње који је у стању да да велики проток материјала, са великим обимом фракције влакана у композиту. Доступност стандардних шипки и цеви даје широк опсег могућности дизајнерима и инжењерима у многим индустријским гранама.

2.1.9 Убризавање смоле (стакло, угљеник и арамид)

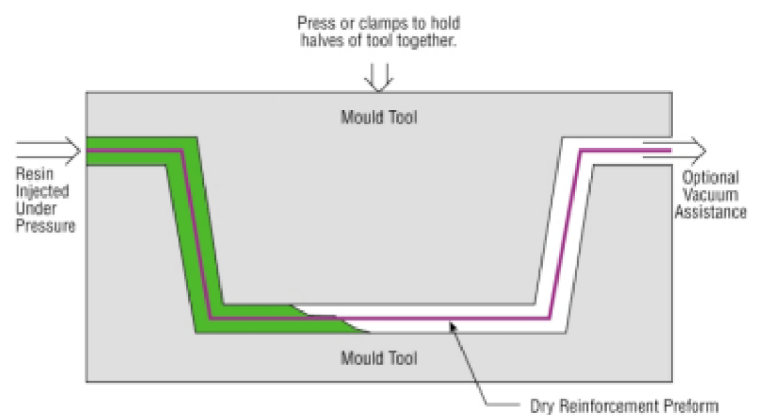
Техника убризгавања смоле је први пут представљена од стране др Muskat-а у САД, који је произвео мале чамце од стакло/полиестер материјала током четрдесетих година прошлога века.

Он је позиционирао сув стаклени полагач између робусног горњег калупа од алуминијума и спољашње стакло/ полиестер љуске, затим усисавао течну смолу на горе из околног „јарка“ или удубљења у горњем калупу.

Доњи калуп је прилично танак, омогућује прогресивно квашење полагача, што је праћено видљивим потамњењем области импрегнираног стакла које је евидентно на провидној љусци. Касније потапање испод нивоа смоле у јарак, израђује печат. Усисавање смоле је увек било са највишег нивоа у обрнутом положају, обично око средине кобилице.

Ради побољшања вакуумске дистрибуције били су убачени канали за спровођење од порозног стакленог отирача.

У модерном процесу убризгавања смоле, обе половине калупа су израђене од крутих непорозних материјала и катализована смола се убризгава под знатним притиском у суви полагаач. Матрица од смоле је учестали, вруће постављен епоксидни систем. Тако епоксидна смола, загрејана довољно да се постигне минимална вискозност, може бити напумпана путем полагача или путем горњег контролног стакла. Мехурићи ваздуха су избачени из појачања и проток смоле се наставља, док смола пролази чисто и без мехурића. У овом тренутку, проток је прекинут, температура се повећава, притисак одржава, а гелирање и очвршћавање одвијају.



Слика 2.14 Убризгавање смоле [3]

Предности ове технике су:

- производња композита са високим уделом влакана и са ниским уделом пукотина у материјалу
- будући да је смола затворена у калуп, не представља опасност за околину
- много бољи изглед површине.

Недостатци:

- врло скуп и тежак алат
- производња је ограничена на мање комаде
- могу се појавити места на производу која нису попуњена смолом, што може довести до великог шкарта.

2.1.10 Процеси ручног полагања (влакнима пресвучени материјали)

Постоје три посебна процеса која иду под одредницу „ручно полагање“. Термин је коришћен да укаже да посебни апарати не захтевају обезбеђење притиска током фазе калуповања. Као што је објашњено у следећим поглављима, притисак је суштински део консолидације мноштва влакана, пошто сви такви низови у сувом стању имају одређену растегљивост или еластичност. Употреба малих ручних алата – брисачи, глатки ваљци, ожљебљени ваљци и чак заобљене стаклене шипке, довољна је у многим случајевима да се смањи почетна дебљина и додели прихватљива запреминска фракција влакна. Поменута три процеса су:

1. Нема притиска за Дурестос (азбест/фенолни филц)

Овај метод је развијен у периоду до 1946. године, нешто пре хладно-подешаваних полиестерских смола постао је доступан у Великој Британији. Дурестос је представљен као материјал за обликовање под високим притиском, а вода која је хемијски произведена током очвршћавања, је растворена поново у ламинат, на 150-160°C. Пошто је Дурестос везан са фенолном смолом која је растворљива у води, поседује корисну особину омекшавања у топлој води коришћењем влажног сунђера. На тај начин постаје веома савитљив и може лако бити истегнут и обликован до значајних дуплих кривина.

Проблеми високе температуре очвршћавања и „извијања“ еластичних филцова решени су фарбањем крајње површине мешавином резорцинол-формалдехида и 15% фурфуролил алкохола. Мешавина обавља две функције:

А) Будући да је вода растворљива, потпуно је продрла кроз филц и помешана је са већ присутном фенолном смолом. Касније се катализује до очвршћавања на 80° С. Ово омогућава да произведена вода испари на ниском притиску паре, тако да није потребан спољни притисак.

Б) Матрица се снажно скупља током очвршћавања. Тиме се спречава било каква тенденција повратка у дебљини док се филц исуши и очврсне.

Калупи за процес без притиска могу бити и лаки и једноставни. Могу бити направљени од лаке вулканске стене. Овом техником (где високи притисак није неопходан) избегава се употреба моћних и скувих хидрауличних преса и јаки челични калупи. Многе пионирске структуре, као што су унутршња ребра за RAE програм пластичног крила, су направљене овом методом. Такође вештачки удови,

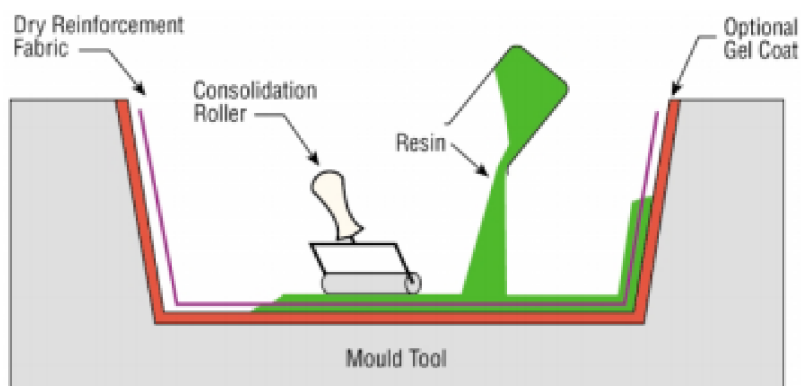
артикли хемијских фабрика, ракетне лансирне цеви и мали бродови су били скромне претече многих данашњих конструкција.

2.Обични ручни полагагач

Овај процес је постао важан још од проналаска хладно подешених полиестерских смола у 1947. години. Смоле су добиле још већи значај открићем да мала количина парафинског воска, предходно растворена у смоли, мигрира на површину током очвршћавања и спречава лепљиву површину нормалним присуством у додиру са ваздухом.

Најједноставнији случај је примена равне површине као што је лист дебелог стакла или метална табла премазана раздвајајућим средством. Први слој катализоване смоле се наноси четком, спрејем или једноставно преливањем.

Слој тканине или отирача се поставља преко њега и смола је апсорбована. Други слој смоле и други слој појачања се наноси на исти начин; поступак се понавља са наизменичним слојевима смоле и влакна док се не постигне одговарајућа дебљина. Завршно полагање је стиснуто (ваљано) са ожљебљеним ваљцима да би се учврстило полагање и уклонили мехурићи ваздуха. Обликовање допушта гел који се учвршћује на собној температури или се процес поспешује у ваздушној рерни. На слици 2.15 приказано је ручно полагање



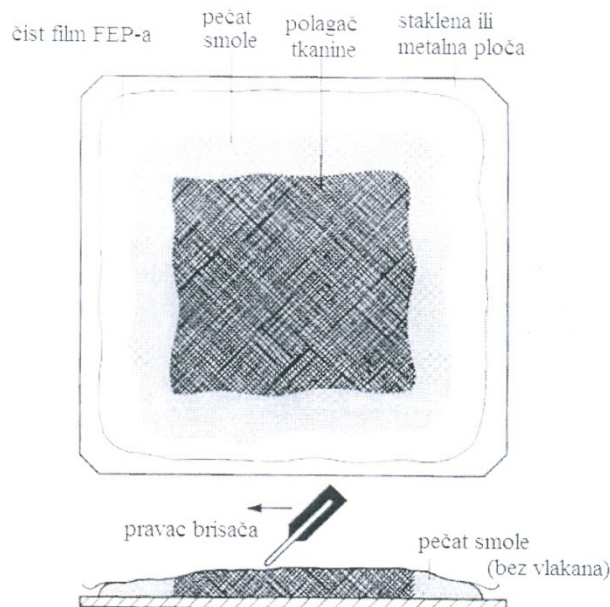
Слика 2.15 Ручно полагање [3]

3. Ламинати без празнина

Важна варијација ручног полагања је такозвана „void-free“ техника која се користи за производњу ламината врхунског квалитета, направљених од тканине. Блиско посматрање мехурића, који су увек присутни у ручном полагању, показује да постоје две врсте мехурића. Прво, постоје мали мехурићи ваздуха који су заробљени у процепима тканине; друго, постоје већи и равнији мехурићи који су ухваћени између слојева, када је један комад влажне тканине изнад другог таквог комада. Пажљиво натапање тканине смолом од испод дозвољава да прва врста мехурића буде протерана из ње. Други тип мехурића се отклања на следећи начин: Одабере се област за положај алата за пеглање, додаје се плитак базен катализоване смоле, око 30-50 mm ширине ван ивице ојачаног материјала и окружује је потпуно. Након монтаже, полагаач и плоча се покривају са чистим листом отпуштајућег премаза (Du Pont FEP премаз је најбољи), тако да базен од смоле формира комплетан печат око и изнад ламината (слика 2.16).

Чврсти потези су изведени ручно, користећи брисаче са гуменим ивицама. Могу се користити метално сечиво са заобљеном ивицом или лењир са закошеном ивицом, од центра до ивице полагача. Мехурићи, и велики и мали, бивају уклоњени у великом таласу вишка, док се ламинат на одговарајући начин смањује у дебљини.

Важно је да нема проширивања влакана изван полагача, кроз печат смоле према спољашњем простору. Ако се то деси, ваздух цури назад дуж влакана у ламинат који се брзо шири до своје првобитне дебљине.



Слика 2.16 Печат у ламинирању без празнина. Трик је да се задржи нетакнут печат смоле око полагача. Влакнима се не сме допустити да премосте печат јер ће ваздух ући у склоп. [2]

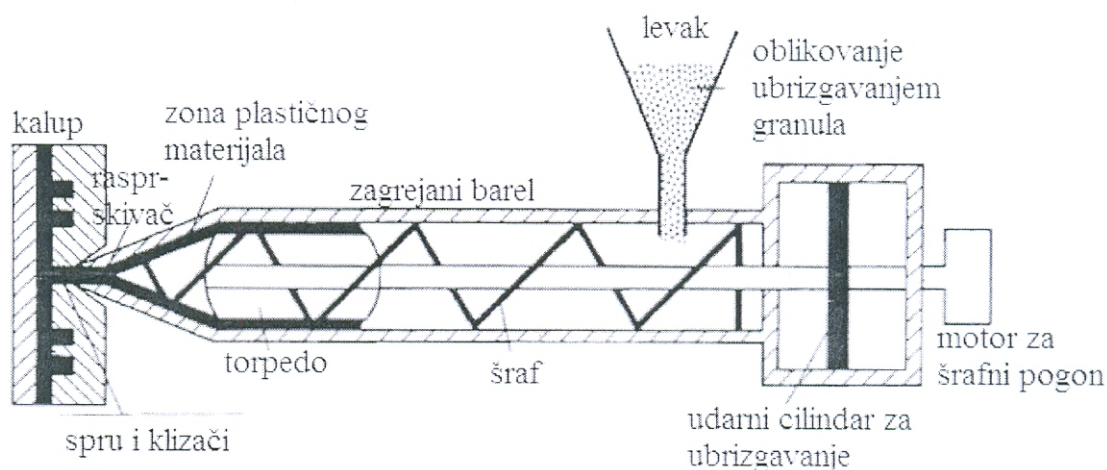
Иако овај метод звучи компликовано прилично је једноставан када је демонстриран од стране експерта. Предност система је што се не односи само на равне ламинате него и на женске калупе и обликовање вакуум врећом.

Спољна површина има бољу отпорност на ерозију од површине која садржи празнине. Пожељно је да произвођачи прво свладају технику на равним плочама пре коришћења алата за вакуум метод.

2.2.0 ОБЛИКОВАЊЕ ОЈАЧАЊЕ ТЕРМОПЛАСТИКЕ

Механичке особине већине термопластика се значајно побољшавају додавањем влакана. Процеси који се користе за израду зависе од тога да ли су додата влакна кратка и насумично орјентисана (обликовање убризгавањем), или је влакно континуално и тачно орјентисано.

2.2.1 Обликовање убризгавањем



Слика 2.17 Машина за обликовање убризгавањем. [2]

Материјал је у облику гранула за обликовање убризгавањем. Ово су коцкице или зрнасте куглице које се до 40% састоје од сецканог влакна, растуреног

равномерно. Потребно је очувати дужину влакана и обезбедити адхезију између матрице и влакна. То се постиже почетном дужином влакна, док је још континуално и пре постављања у уобичајени шрафни екструдер за сједињавање са изабраном термопластиком.

Суве грануле се левком спроводе у грејну комору, која је причвршћена са пластифицираним вијком и наизменично покретљивим клипом. Удар клипа се може пажљиво контролисати дајући специфичну тежину материјала на сваком удару напред. Како се грануле крећу напред и загревају, постају све мекше и пластичније. Захваљујући интерном торпеду постиже се оптимална температура обликовања.

У међувремену, половине калупа се спајају у целину. Распрскивач машине за обликовање под притиском, која има прекидни вентил, доводи се у позицију неопходну да се ливено пуњење избаци кроз млазницу у шупљину калупа, кроз капију и обезбеђени клизач, под високим притиском.

Сила закључавања калупа је ураспону од 5 MN за популарне величине машине до 25 MN. Притисци за обликовање убризгавањем су до 200 МПа за пуне материјале. Снага и крутост су побољшани додавањем влакана. Стакло је најевтиније појачање. Уколико су захтеви за крутост повећани, преферира се угљеник. Угљеник обезбеђује мање скупљање, већу проводљивост топлоте и електрицитет, смањује стопу хабања и има мањи коефицијент трења. Арамидно влакно је мање успешно у појачању термопластике. Оно није исечено чисто, као стакло и угљеник и тежи да раздвоји клизаче и капије.

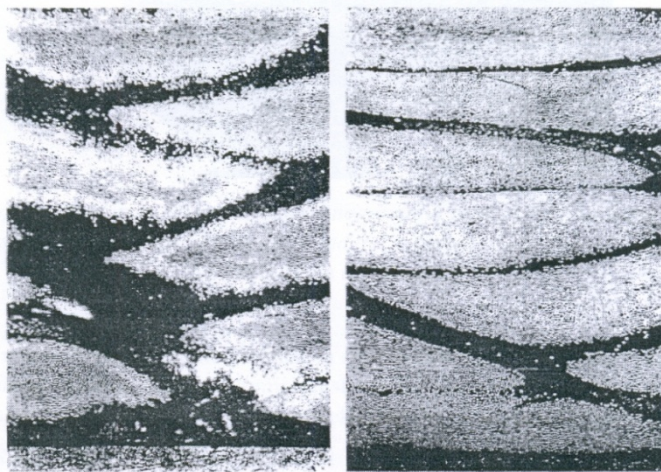
2.2.2 Техника слагањем филма

Употреба термопластике је мала упркос очигледним предностима:

- оне производе стабилне препреге који имају константно понашање при обликовању чак и након дужег чувања.
- хлађење није неопходно
- делови могу бити преобликовани
- делови могу бити спојени методама топлог заваривања
- делови могу бити савијени, увијени или другачије топло обликовани
- композити имају већу отпорност на удар од термореактивних матрица
- брже су за обликовање од термореактивне пластике

У циљу разумевања разлике између термопластике и термореактивне пластике, испитује се комад тканине импрегниране са 45%-50% типичне епоксидне смоле. Материјал је мек и флексибилан, са пажљиво регулисаним износом припајања. Насупрот томе, слична тканина је импрегнирана са истом количином термо пластике као што је полиетарски сулфон (ПЕС), је тешка и крута без лепљивости или припајања. Има грубу текстуру и брзо ће се сломити ако се покуша савијање или обликовање руком на собној температури. Објашњење лежи у чињеници да један слој, импрегниран са довољно високом молекуларном тежином полимера већ представља мини ламинат високе крутости. Један од начина враћања флексибилности таквом препрегу је смањење присуства полимера. Проблем довођења коначног, укупног обима фракције влакана и смоле до њиховог коректног нивоа, је решен додавањем допунске матрице у облику танког филма од чистог полимера. Слагање филма се састоји од наизменичних слојева импрегнираних влакана. Заједничко за растворљиву пластику, полиметил-метакрилат и поликарбонат, су једноставно коришћење, а њихова главна мана је ниска тачка омекшавања. И полисулфон и полиетерсулфон „Victrex“ имају високе стаклено-прелазне температуре и формирају ламинате погодне за употребу. Међутим, полисулфон је много лакше нападнут од супстанци уобичајених код израде авиона (трихлоретилен „gencelan“).

Да би се произвео ламинат високог квалитета (без празнина и високог садржаја влакана), мора постојати одговарајући ток смоле, не само између слојева тканине, већ и унутар појединачних кучина. Најбољи начин провере квалитета је испитивање реза и глаткоће попречног пресека под микроскопом. Појава лошег протока и комплетан проток је лако уочити, како је приказано на слици 2.18.



Слика 2.18 Филм-слагање микрограф приказује (лево) неисправан и (десно) исправан проток термопластичне матрице у сноповима ојачаних влакана [2]

Притисак од 6МРа до 12МРа, температура од 270°С до 325° С и задржавање у периоду од 20 до 30 минута пре хлађења су погодни за полисулфон и полиетер-етер кетон (ПЕЕК).

За ојачање влакана успешно се користе стакло, кварц, угљеник и Кевлар. Стакло и кварц су посебно корисни у кратко-таласним електричним апликацијама као што су радарске куполе. Слика 2.19.



Слика 2.19 Испупчена радарска купола транспортног авиона Херкул, уведена због веће отпорности на ударе камења на писти.[2]

Фине металне мреже инкорпориране у филмском слагању дају ојачане ламинате при чему је нерђајући челик изборни метал. Алуминијумска мрежа може бити

обликована у површину угљенично-влакнастог ламината за побољшање електричног везивања и за заштиту од грома.

На сличан начин за спољашњу заштиту може да се користи јефтинија варијанта термопластике. Тако ПЕЕК даје супериорну заштиту против кишне ерозије, док се полиетер сулфон користи за главни део ламината.

Термопластични ламинати могу се произвести у веома дугим даскама материјала. Филмови од полимера и филмови од препрега су распоређени у низу, тако да уђу у зону грејања сложени наизменично. Ламинати тада могу бити извучени до треће зоне за брзо хлађење, након чега континуална даска може бити спремна за паковање и транспорт. Такве даске, до 50 m дужине су произведене за NASA машину за зрачно заваривање.

2.2.3 Препрег материјали за ПЕЕК

ICI је развио методу импрегнације угљеничних влакана са ПЕЕК, за производњу континуиране кучине и из ње листова препрега. Услови обликовања су већ дати и види се да су они конвенционални за високо притисно температурно обликовање термореактивне пластике. Такође, АПЦ материјали могу бити прилагођени нормалном аутоклав обликовању, где одсуство времена очвршћавања доноси знатно смањење укупне дужине циклуса обликовања.

Операције топлог обликовања на ламинарном листу, као што су утискивање, ваљање и прављење обода обезбеђују повећану брзину производње за плочасте материјале базиране на термопластичним матрицама.

2.3.0 Раздвајачи

Постоји много различитих система смола у употреби за израду ламината и толико много различитих материјала који се користе у изради калупа, па се често јављају озбиљни проблеми адхезије. Зато је битно одабрати прави раздвајач.

2.3.1 Филм-форматори из раствора

Један од најбољих раздвајача за полиестерске смоле је водени раствор поливинил алкохола. Вискознији раствори су бољи за везивање за вертикалне површине и поткопавају се без последица по дно калупа. Истовремено, овим филмовима је потребно неколико сати да се осуше (морају бити потпуно суви). Процес се знатно убрзава додавањем мале пропорције изопропил алкохола и струје топлог ваздуха из индустријског клима грејача.

Натријум алгинат је још један одличан филм-формер који користи воду као раздвајач. Адхезија је мала, а филмови имају тенденцију да споје преко углова и подреза док се не осуше. Додатак од 10% глицерола даје филмовима довољно флексибилности да то спрече.

Трећи филм-формер на бази воде је метил целулоза. Као и натријум алгинат представља корисно раздвајајуће средство за ојачање фенолне смоле, која може да прионе веома чврсто на зидове алата и да приликом вађења дела из алата, изазове оштећење дела и алата. Мана раздвајача на бази воде је дуго сушење. Због тога су развијена раздвајајућа средства на бази целулоза ацетата, која користе мешавину испарљивих органских растварача. Наношењем спреја или лакирањем четком, време сушења је битно смањено просечно од четири сата са поливинил алкохолом на само десет или петнаест минута.

Где је калуп материјала порозан и упијајући, као у случају дрвета или гипса, препоручљиво је прво запечатити површину, на пример са стеарат мазивом, пре наношења целулоза ацетата.

За високо-температурне термоподешене смоле, ацетат има врло ниску тачку омекшавања. У таквим случајевима је боље користити лак на бази целулозе-ацетат бутирата, користан за епоксидне смоле или целулозе триацетата за фенолне смоле.

Сви горе наведени филм-форматори могу бити офарбани тако да се обезбеди видљив индикатор подручја површине калупа који је случајно остао нетретиран. Слично томе, ако је обликована површина припремљена за спајање лепљењем, уклањање површине прањем и шмирглањем постаје очигледно променом боје.

2.3.2 Филм-форматори од уља, сапуна и воска

Многи угљоводоници са високом тачком кључања као што је парафинско уље, размазано на непорозној површини попут лима, делује као раздвајач. Површина калупа након тога је контаминирана и контаминација је изузетно истрајна. Ово је главни проблем са силиконским уљима, где контаминација пренета на површину калупа бива одговорна за многе проблеме облагања и лепљења.

Метални сапуни, као што је цинк стеарат, су добри раздвајачи. Они постоје у облику финог праха који се може додати у термореактивно обликоване компоненте, из којих мигрирају до топле површине калупа током процеса обликовања. У циљу представљања таквих сапуна у облику погодном за ламинатор, осмишљено је “непостојано мазиво”.

Мазиво нормално настаје згушњавањем сапуна са неиспарљивим нафтним фракцијама као што су уља за подмазивање. У случају алуминијум стеарата сапун је растворен у испарљивом растварачу као што је толуен. Мала количина бентонита (специјална монтморијонит глина) се користи за стабилизацију мазива и спречавање одвајања током складиштења.

Стеарат мазива се наносе глатко у танким кохерентним слојевима преко површине калупа. За минут или два раздвајач испари и калуп је поново спреман за употребу. Код порозних калупа увек је боље да се запечати површина са стеарат мазивом пре коришћења једног од филм-формера.

На глатким непорозним површинама као што су метални калупи, корисна су и средства за полирање. Када ова средства садрже тежак восак као што је карнаба, завршно полирање може бити у виду огледала. Добар сјај знатно олакшава раздвајање. Средства за полирање садрже природне или синтетичке воскове (који су масни естри моновалентног алкохола), растворени у раздвајачима као што је терпентин.

Постоји тенденција да произвођачи одмах додају силиконска уља рутински, сваком средству за полирање, па може бити веома тешко наћи производ који је гарантовано без силикона.

2.3.3 Полимерни калупи и полимерни филмови

Термопластични материјали било у расутом стању или као пресовани филмови немају тенденцију да садрже друге системе смола које полимеризују при контакту. На пример, лабораторијски пехари направљени од најлона, полиетилена или полипропилена, који се користе за мерење и мешање полиестера или епоксидне смоле, неће приањати. Ако се остави мало такве смоле да несметано очврсне, са дрвеном мешалицом остављеном уз зид посуде, остатак, једном постављен, може се подићи из пехара као чврст блок са уграђеном мешалицом. Ограничење је тачка топљења полимера. Ако се сипа велика количина брзо-подешене смоле, добијени егзотерм може нарушити или чак отопити пехар са знатном адхезијом. Пластика и најлон су задовољавајући, али полиетилен мање.

На сличан начин, танки филмови као што су најлон, полипропилен или ПВЦ могу бити „закрпа-тестирани“ сипањем базена катализоване смоле на центар равног листа. Базен је постављен на приближно кружном диску чврсте смоле са ког пластични филм може да се скине. ПВЦ и кополимер листови (хлорид-ацетат) чине торбе за вакуум обликовање хладно подешених матрица. Недостатак је то што коришћени пластификатори могу бити растворљиви у матрици смоле. Подручје навлажене области у закрпа-тесту треба пажљиво испитати. Било какви знаци испупчења, омекшавања или лепљивости су повод за одбацивање.

Један од најефикаснијих полимрених филмова за употребу као раздвајајућег средства је флуорисан етилен-пропилен (Du Pont's FEP филм). Има високу тачку топљења ван утицаја је многих течних смола и оставља сјајну површину на ламинату. Може бити протегнут скоро као гума без цепања. Неке гуме делују као разређивачи. Уколико су сумпор или црни угљеник укључени у гумену смесу може постојати инхибиција смоле.

Одлично раздвајајуће средство за непорозне површине попут челика и стакла је флуороугљенични теломер (полимер ниске молекулске тежине). То је фина емулзија у нестабилном флуороугљенику.

2.4.0 Дорада композита

Генерално је пожељно да компонента направљена од композитног материјала изађе из калупа комплетна - независно од сувишног блица, са уважавањем специфициране димензије и услова површине. Ојачане компоненте се могу обликовати завршним премазивањем гелом.

У овом поступку, дорада је примењена на калуп одмах након раздвајајућег средства. После очвршћавања до фазе чврстог гела примењује се полагање директно на задњу страну премаза гелом. Раздвајањем компоненте од калупа, долазимо до закључка да је завршна обрада пренета на спољашњу површину компоненте.

И полиестарске и епокси смоле се могу лако формулисати тако да се добије трајна гелом премазана дорада. Пошто је гел-премаз изложен временским приликама (ултра –љубичастом и видљивом зрачењу, воденој пари итд) мора бити жилав и еластичан а не крут.

Понекад постоје посебни захтеви колор схеме, војна камуфлажа, кишна ерозија, рефлексција или заштита од удара грома који захтевају посебне дораде. У том случају је неопходно пажљиво припремити површину на којој има трагова претходно примењеног разређивача.

У опсежној студији Parker и Waghorne (1982.) су испитивали X зрацима фотоелектронске спектроскопије контаминацију површина. Контаминација се мери и хемијском анализом и покушајима везивања са бројним комерцијалним адхезивним формулацијама, које се примењују као пасте или као топло-очвршћавајући адхезивни филм.

Чишћење је извршено са једном од три методе:

- 1) Деловањем абразије брусним блоком користећи 240 или 320 гранула силиконкарбидног папира.
- 2) Абразија са абразивном тканином док је приметна количина остатка акумулирана на тканини.
- 3) Експлозијом сувих алуминијум триоксидних гранула од 280 степени.

Абразија са силицијум-карбидним папиром, или пескарење били су најефикаснији, не само у уклањању хемијски очигледне контаминације, већ и у враћању адхезије на висок ниво. Треба напоменути да после абразије све површине

треба брисати крпом навлаженом ацетоном док сви трагови црног (карбонски опиљци) не буду уклоњени.

Након чишћења површине могу се применити:

- Нормалне авионске или аутомобилске дораде на бази акрилних, алкидних, епоксидних или полиуретанских система.
- Посебни еластомерични полиуретани или неопренси са добром абразивном отпорношћу за руковођење ивицама и радарским куполама који подлежу великој брзини кишне ерозије.
- Прскање метала (обично цинком или кадмијумом) у циљу давања рефлексије површини ка радарским антенама.
- Прскањем бакра или везаног бакра или мреже лакних легура, као заштите од удара грома.

3. ПРИМЕНА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА У АВИОИНДУСТРИЈИ

3.1 Аеродинамика

Лет птица је била човекова инспирација за проучавање и дефинисање физичких основа лета тела тежег од ваздуха.

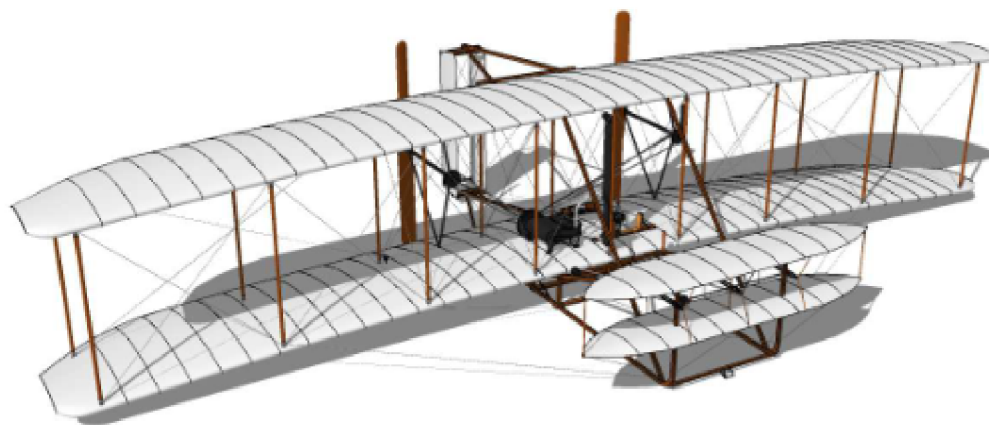
Аеродинамика је наука која се бави кретањем ваздуха у односу на чврста тела. Земљина атмосфера представља ваздушни омотач око Земљине кугле. Тај ваздушни омотач се дели на четири слоја: тропосфера, стратосфера, јоносфера и ексосфера. Ексосфера представља границу са међупланетарним простором. Атмосфера се карактерише променама физичких величина притиска, температуре, влажности, густине у функцији годишњег доба, географске ширине, дужине и висине. Средње вредности физичких величина су стандардизоване у стандард атмосферу. Те стандард атмосфере су референтне за поређење у анализама при конкретним атмосферским условима.

Подела аеродинамике се врши на више начина. Неки проблеми се решавају у више њених грана. Деле се на: подзвучна, крозвучна (трансонична) и надзвучна (суперсонична), хиперсонична, аеродинамика слободних молекула и не-Њутнова струјања.

Аеродинамика, већином изучава део у којем се сматра да је ваздух идеалан флуид. То значи да је ваздух безвискозан али да може бити стишљив и нестишљив. Безвискозност је случај када нема тангенцијалних напона између честица ваздуха при њиховом кретању, а ни у односу на површину тела које опструјава. Занемаривање вискозности за аналитичко изучавање већине феномена у аеродинамици је корисно и допустиво али при одређеном опсегу брзина и висина. Реалан ваздух је вискозан и он се у неким случајевима узима у обзир, као што је случај при одређивању граничног слоја. Примена аеродинамике у пројектовању летелица се првенствено односи на авионе.

3.2 Примери употребе композитних материјала у ваздухопловству

Са напретком науке и развојем индустрије почели су се јављати први покушаји израде летелица заснованих на законима аеродинамике. Браћа Рајт су прва извела лет у свом авиону названом „Flyer“, слика 3.1.

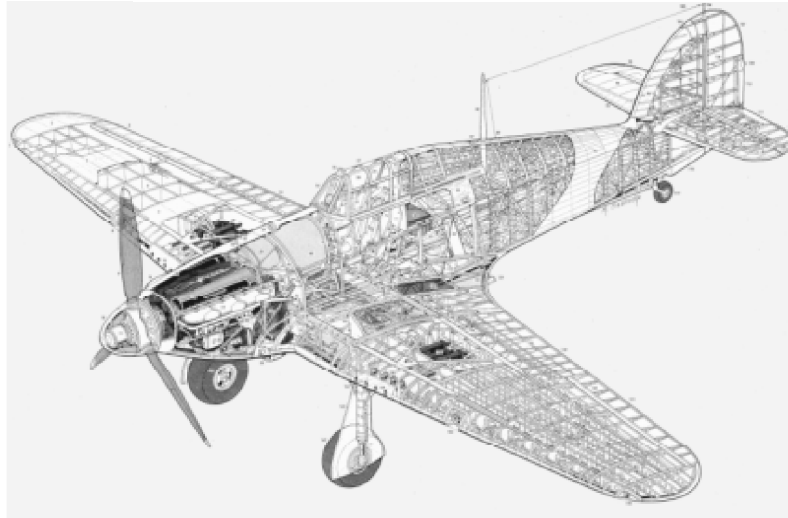


Слика 3.1 Авион Flyer [6]

Био је начињен од традиционалних материјала, дрвета јасена и оморике и лаких алуминијумских легура.

Општи значај ваздухоплова и могућност практичне примене прво је уочен у војној индустрији. Током првог светског рата уложени су велики напори у њихово даље усавршавање, па је брзина авиона порасла преко два пута а снага мотора за око четири пута.

Други светски рат доноси нове савршеније моделе у које се уграђују материјали које сусрећемо и данас. Типични представник је енглески Hawker Hurricane (слика 4.2).



Слика 3.2 Ловац Hawker Hurricane [6]

Овом авиону су крила првобитно била од челичних ребара и дуралуминијумских елемената, превучена ланеним платном. Платно се употребљавало и као облога трупа као и на репним површинама. Спољашње платнене површине премазиване су посебним премазом на бази ацетил-целулозе растворене у ацетону чиме се повећала чврстоћа. Касније се прешло на уобичајену концепцију крила изведеног у потпуности од лаке алуминијумске легуре и прекривеног металним плочама.

Авион Hornet F.Mk.1 (слика 3.3) представља пример успешне конструкције настале применом дрвета и метала, а све везе ова два материјала су одрађене синтетичким лепковима.

Мотори авиона тог времена су првобитно били од сивог лива, а касније од алуминијумске легуре. Тиме се успешно редуковала тажина летилице и остварило боље одвођење топлоте. Резервоари за гориво су рађени од алуминијумског лима превученог специјалним омотачем од гуме који је имао функцију стезања рупе настале бушењем резервоара.



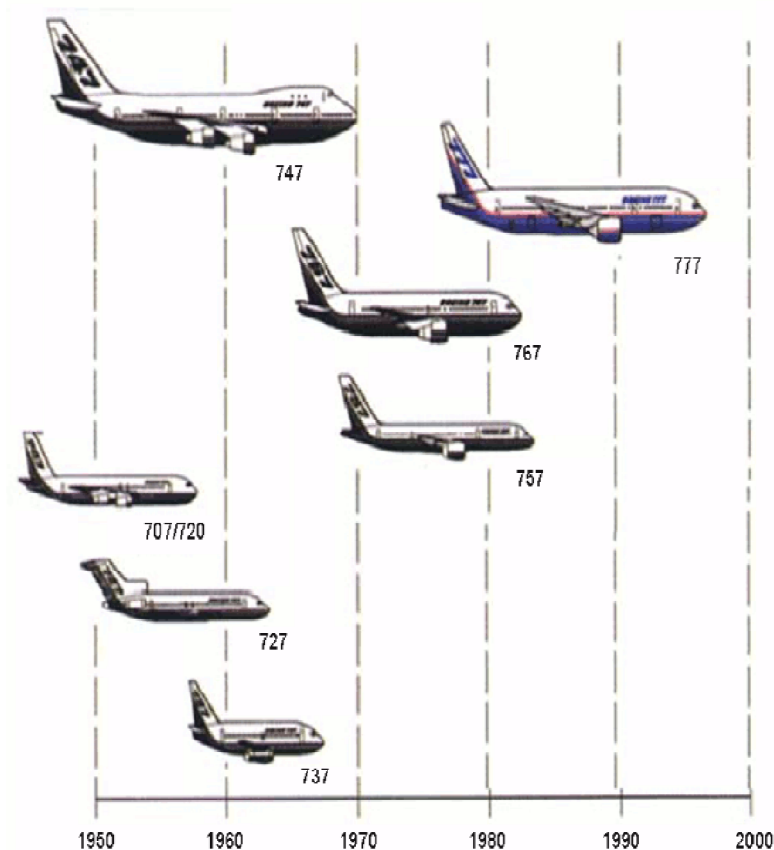
Слика 3.3 Hornet F.Mk.1 [6]

После другог светског рата почиње нагли развој цивилног ваздухопловства. Неки од путничких авиона тог времена још и данас, после толико времена, успешно лете.

Један од најпознатијих путничких авиона на млазни погон Боинг 707, развијен 50-тих година прошлога века је и данас у употреби, захвањујући поузданости и трајности уграђених материјала. Најмодернији Боинг 777 базиран је првенствено на употреби лаких алуминијумских легура високе чврстоће и ниске густине. Како су алуминијумске легуре временом постајале све боље и квалитетније, авиони су постајали све лакши па су могли да носе већи терет.

Касније, у случају Боинга 787 остварене су још више употребне карактеристике у погледу брзине, носивости, величине, тежине, сигурности и трајности.

Данас аероиндустрија тежи не само побољшању постојећих материјала већ и развоју нових са оптималним својствима за одређену област примене. Један од таквих савремених материјала су свакако композити. Захваљујући циљаном пројектовању композита, који својим својствима успешно задовољавају сложене експлоатацијске захтеве, примена ових материјала је у сталном узлету.



Слика 3.4 Хронологија развоја авиона Боинг [6]

Први представници композитних материјала били су полимери ојачани стакленим влакнима који су се првобитно користили за мање оптерећене елементе летелице, али захваљујући константном напретку почињу се користити и за сложеније конструкцијске елементе попут оплате крила и трупа.

Једна од првих примена композитних материјала у ваздухопловству забележена је пре 40-так година код војних авиона Grumman F-14 Tomcat (слика 3.5) и McDonnell Douglas F-15 Eagle (слика 3.6). Влакнима ојачана полимерна смола користила се за израду оплате репног кормила. У почетку, масени удео композита је био веома мали тако да је код авиона Grumman F-14 Tomcat из 1970. Године износио само око 1%. Осам година касније употреба композита је толико порасла да је њихов удео порастао на 19% код авиона McDonnell Douglas F/A-18 Hornet (слика 3.7).



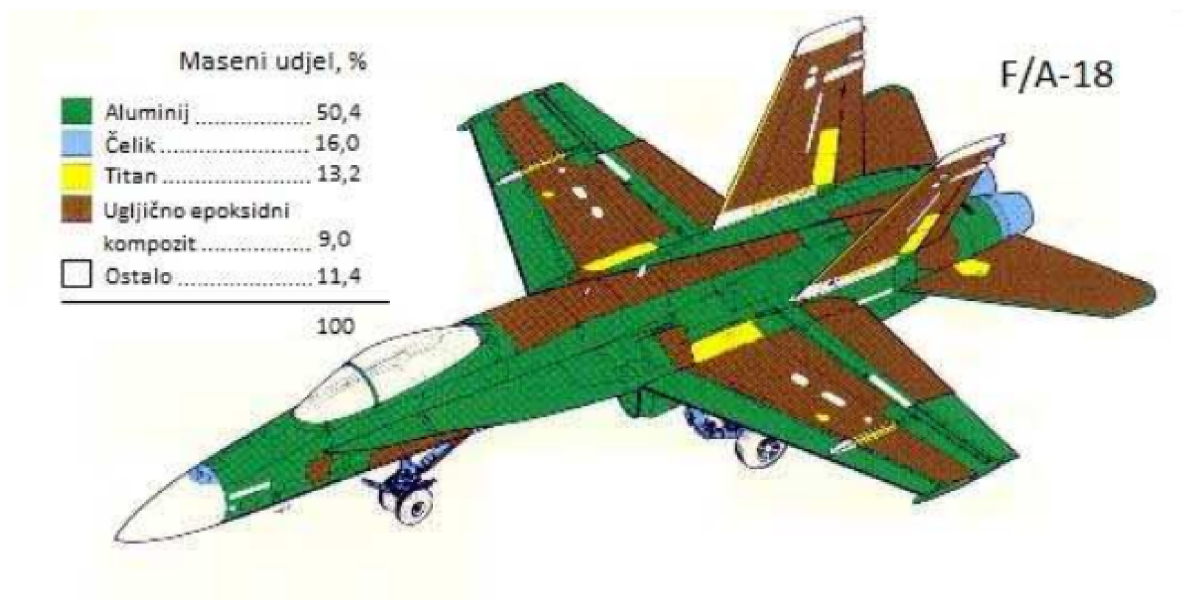
Слика 3.5 Grumman F-14 Tomcat [6]



Слика 3.6 McDonnell Douglas F-15 Eagle [6]

Труп, крила и репна структура овог авиона су највећим делом израђени од композита епоксидне матрице и угљеничног ојачања. Осим композитних материјала употребљене су и очврснуте алуминијумске легуре, челични материјали као и легуре на бази титана.

Удели појединих материјала се током времена мењају на рачун повећане потрошње композита и титанових материјала уз истовремено смањење потребе за алуминијумским легурама.



Слика 3.7 Конструкцијски материјали авиона F/A-18 [6]

Код летилице Lockheed Martin F-22 Raptor (слика 3.8) Из 1990. године композитни материјали су масовно коришћени у изради оплате крила и оплате трупа тако да чине 24% укупне масе конструкције. Високо оптерећени елементи трупа и оквира изведени су од титанових легура, стајни трап је грађен од челика високе чврстоће, а репне површине од композитних панела са алуминијумским језгром.



Слика 3.8 Lockheed Martin F-22 Raptor [6]

На примеру „невидљивог“ бомбардера Б-92 (слика 3.9), композитни материјали су успешно примењени у производњи примарних конструкцијских елемената и на тај начин је анулирана нешто већа маса летилице настала превлачењем оплате специјалним материјалом који апсорбује радарске зраке.



Слика 3.9 Northrop Grumman B-2 Spirit [6]

Захваљујући својим предностима композити су нашли своје место и у цивилном ваздухопловству. Прва значајна употреба забележена је 1983. године и то код Еирбасових путничких авиона А300 и А310 где се полимерни композит првобитно користио у изради кормила, а две године касније и за репни вертикални стабилизатор, слика 3.10.



Слика 3.10 Airbus A300 [6]

Код Ербаса А320 (слика 3.11), од композита је грађена цела репна структура и бројни други елементи укључујући и подну облогу (стакленим влакнима ојачан полимер). Композитни материјали укупно чине 28% масе авиона што је осим значајне уштеде на маси омогућило и краће време производње и мању осетљивост на различите облике оштећења.



Слика 3.11 Airbus A320 [6]

Данас су композити широко заступљени у производњи новог Еирбаса А380 где се користе за горње и доње панеле оплате авиона, за потпорње крила, носаче пода горњег спрата (палубе) као и читав низ других конструкцијских елемената. Осим полимерних композита примењени су и тзв. „Glare“ ламинати (GLAss-Reinforced fibre metal laminate-метални композит (алуминијум) ојачан стакленим влакнима).

А380 је први путнички авион са средишњом кутијом крила израђеном од полимерног композита ојачаног угљеничним влакнима, као и прва летелица са благо обликованим попречним пресеком крила, док су крила осталих ваздухоплова дуж распона подељена на одељке. Такав развијени, непрекидни пресек усавршава аеродинамичку ефикасност. У изради предкрилаца коришћени су пластомери, док је за горњи део трупа и нападне ивице стабилизатора коришћен Glare, метални ламинат ојачан стакленим влакнима. Такав алуминијумски, стаклено-влакнасти ламинат има мању масу и боља антикорозивна својства као и отпорност на ударце у односу на конвенционалне алуминијумске легуре коришћене у аеродинамици. За разлику од ранијих композитних материјала може се поправљати конвенционалним поступцима поправке алуминијума.

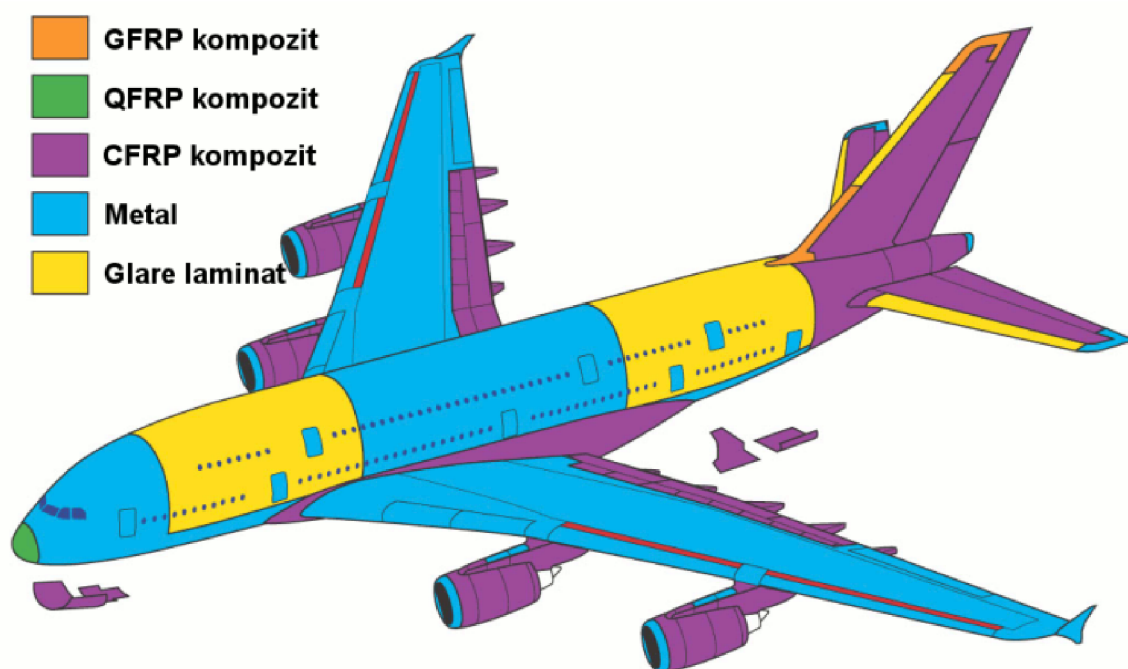


Слика 3.12 Airbus A380 [6]

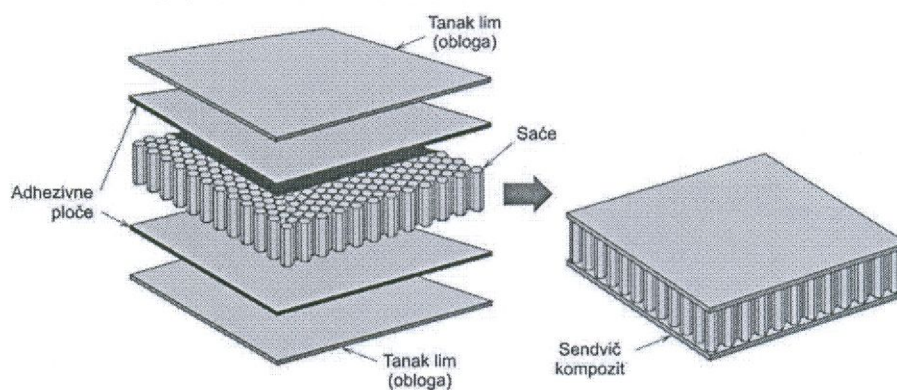
Коришћене су и нове легуре алуминијума, које се могу заваривати, што омогућује обилно коришћење ласерског заваривања што замењује закивке и саму структуру чини лакшом и чвршћом. Коришћење Glare ламината пружа уштеду од 10% у маси, или што је значајније још већу сигурност, јер чак и при појави пукотина у таквом материјалу, њено напредовање је изузетно споро.

Слике 3.13 и 3.15 приказују најзначајније композитне материјале коришћене у изради A380.

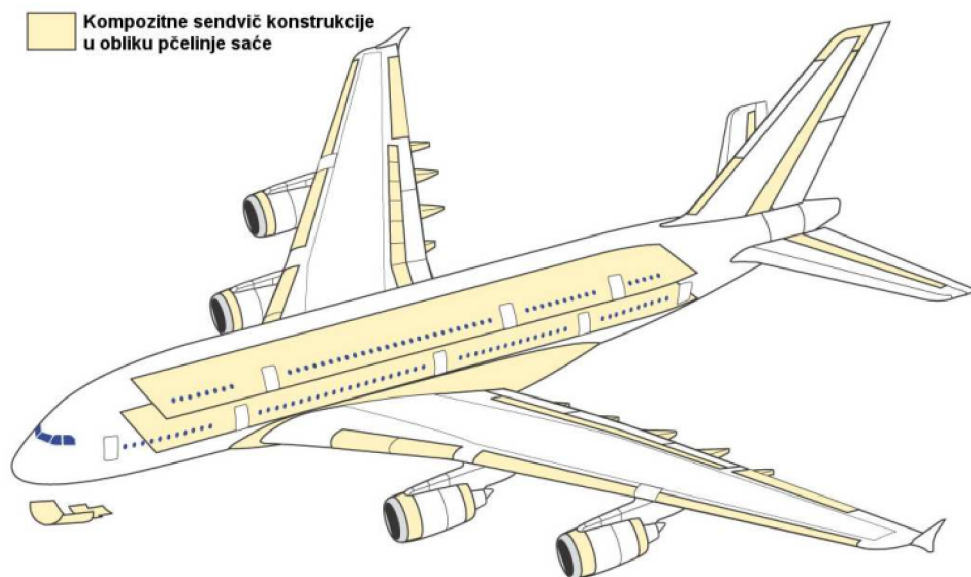
- **Glare ламинат** (GLASS-Reinforced fibre metal laminate)- метални композит ојачан стакленим влакнима;
- **GFRP композит** (Glass Fiber Reinforced Plastic composite)- полимерни композит ојачан стакленим влакнима;
- **QFRP композит** (Quartz Fiber Reinforced Plastic composite)- полимерни композит ојачан влакнима кварца;
- **CFRP композит** (Carbon Fiber Reinforced Plastic composite)- полимерни композит ојачан угљеничним влакнима;
- **Сендвич композит** (Honeycomb)- композитне сендвич конструкције у облику пчелињих саћа.



Слика 3.13 Преглед конструкцијских материјала коришћених у изради A380 [6]



Слика 3.14 Сендвич структура композита примењна у конструкцији авиона [7]



Слика 3.15 Примена композитних сендвич конструкција у изradi A380 [6]

3.3.1 Карактеристике Glare ламината

Glare ламинати су метални композити који се састоје од металних лимова додатно ојачаних стакленим влакнима.

Његова својства су компромис између конвенционалних алуминијумских легура и полимерних композита ојачаних угљеничним влакнима.

Отпорност Glare ламината на замор материјала и оштећења је супериорнија у односу на отпорност алуминијума. Енергија потребна за стварање удубљења (предходно зацртане дубине) је пуно већа него за исти поступак у алуминијуму. Код таквих ламината пукотина се појављује раније, али је њено ширење (пропагација) веома успорено (пукотина је заустављена на сваком слоју стаклених влакана). Као резултат тога, ширење је тако споро да пукотина не може да досегне критичну величину кроз цели животи век ваздухоплова у служби. Због своје високе отпорности на ударце, нападне ивице хоризонталног и вертикалног стабилизатора су направљене од Glare ламината. Корозија је заустављена сендвич структуром. Испитивања су показала да се корозија зауставља на првом слоју стаклених влакана, док у истим условима, корозија пролази по дебљини, кроз алуминијум.

Дефинисано је неколико врста Glare ламината. Они првенствено зависе од распореда слојева стаклених влакана. На пример, ламинати са слојевима усмереним под углом од 45 степени у сваком смеру, су погодни за појачање врата и подручје врата.

Glare је одабран као материјал израде предњих и задњих секција горњег дела трупа због високе толеранције на замор материјала и оштећења. Алуминијум је изабран као материјал израде средишњег дела јер је средишњи део под већим статичким оптерећењем, због присутности крила.

На местима где се користи Glare, може се користити полимерни композит ојачан угљеничним влакнима (CFRP). Овај композит је лакши у односу на Glare. Међутим, трошак производње CFRP композита је већи. Такође, мањак практичних искустава и огледа спречава произвођаче да се одлуче за његову употребу.

3.3.2 Контрола и поправка Glare ламината

Како је Glare нов материјал, постављени су и нови поступци (програми) инспекције. То утиче на прве године експлоатације летелица. Glare ламинати захтевају мање инспекција од конвенционалних алуминијумских легура, а након поправки таквих ламината, никакви додатни специфични прегледи нису потребни.

Након оштећења на Glare ламинату, визуелни преглед омогућава прву процену штете. Дакле, такав поступак не захтева посебне вештине, осим оних већ потребних за визуелне инспекције алуминијумских панела. Ако је потребно, у случају великог ударног оштећења, могућ је и ултразвучни преглед.

У календарском времену, темељна одржавања би требало обављати на сваких месец и по дана или након 750 сати лета, мања одржавања свака 24 месеца, средња сваких шест година, а главно одржавање сваких 12 година.

3.4 Употреба композитних материјала у изради Boeing 787 Dreamliner авиона

Као најбољи пример опсежног коришћења нових материјала, развијених управо за потребе ваздухопловства свакако треба истакнути нови Boeing 787 Dreamliner, слика 3.16.

Авион је први пут представљен јавности 2007. године. Први комерцијални летови кренули су 2011. године.

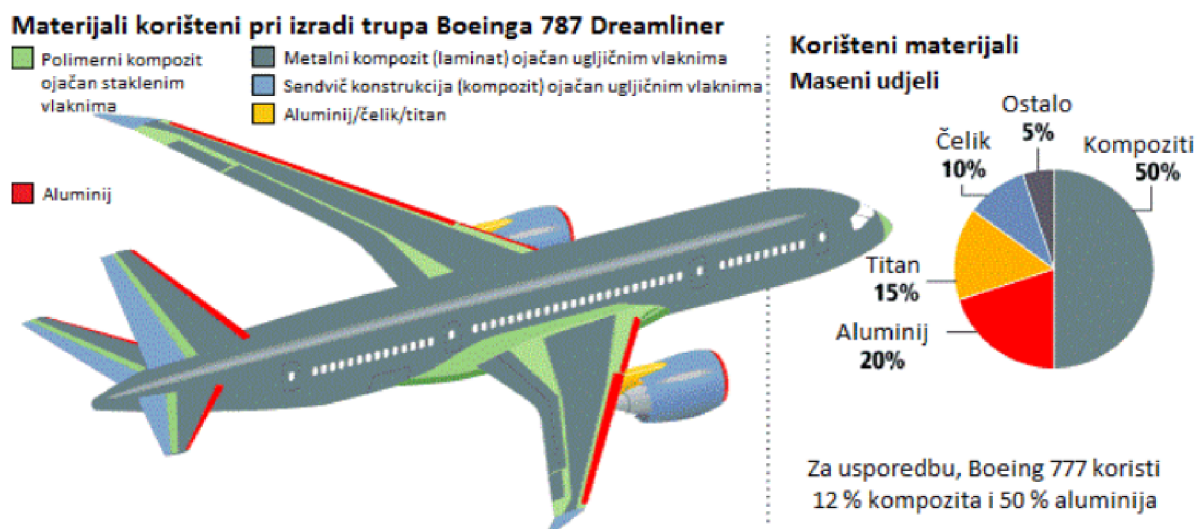


Слика 3.16 Boeing 787 Dreamliner [6]

3.4.1 Материјали

Наспрам конкуренције, предност овог авиона није у величини него у коришћеним материјалима и поступцима израде. То је први комерцијални авион где је 50% делова од композитних материјала, слика 3.17. Око 80% изграђено је из једног комада од угљеничним влакнима ојачане епоксидне смоле, Према техничким подацима за његову приоизводњу се утврдило да се утроши 35 тона угљеничних влакана. Осим композитних материјала у изградњи су коришћене и алуминијумске легуре и легуре титана. Бирањем савремених нових материјала, знатно је смањена бука у авиону упркос чињеници да га покрећу два снажна Rolls-Royce мотора. Основна предност над конкуренцијом, овог авиона је мања маса, већа флексибилност и за око 20% мања потрошња горива у односу на конкуренте сличне категорије.

Предвиђања говоре да ће ускорој будућности композитни материјали имати доминантну улогу у авиоиндустрији.



Слика 3.17 Преглед конструктивних материјала у авиону Boeing 787 Dreamliner [6]

3.5 Револуција композитних материјала

Када је први пут разматрано опсежно коришћење структурних композита на авионима, знало се да ће они знатно смањити масу летилице, омогућујући уштеде горива и повећање долета. Али је и схваћено да су могуће и темељне промене дизајна летилице које ће омогућити интеграцију функционалних састава, као и промене у ламинарном току, што ће побољшати аеродинамичка својства авиона.

У примени композитних материјала постоји још увек много препрека:

- Нико није покушао масовну производњу великих пластичних структурних композита ојачаних угљеничним влакнима;
- Алати за такве велике делове су још увек у фази развоја
- Треба развити нове поступке са којима би било могуће поправљати пукотине у таквим материјалима;

- Треба смислити различите саставе који би се могли носити са електричним водовима и кратким спојевима јер композити нису електропроводни.

Алати представљају проблем због своје величине (велики као авион) и напретка технологије. Пре тога, алати за производњу композита првенствено су били предвиђени за градњу бродова, што не представља индустрију масовне производње.

Висока чврстоћа трупа летелице изграђеног од композита омогућава стављање путничке кабине под виши притисак, чиме се олакшава контрола температуре, влажности и вентилације у путничкој кабини. Што даје додатни комфор путницима.

Композитни материјали су издржљивији од алуминијума у погледу корозије, замора материјала, као и због значајног смањења броја елемената које је потребно спајати (концентрација напрезања и могућих неправилности).

Све композите Boeing компанији доставља Toray Industries, највећи светски произвођач угљеничних влакана.

3.6 Смањење трошкова одржавања летелица услед примене композитних материјала

Искуства су наведена из компаније Boeing и доказују да композитне структуре (материјали) захтевају мањи број редовних одржавања од конвенционалне (некомпозитне) структуре. На пример, композитни реп Boeinga777 је 25% већи од алуминијумског репа Boeinga767, али захтева 35% мањи број радних сати при планираном редовном одржавању. Ово смањење броја радних сати је последица смањеног ризика од корозије и замора композитних структура у поређењу са металним.

Употреба композита такође смањује број непланираних одржавања. Непланирана одржавања често удвостручују или чак утростручују укупан број радних сати потрошених током поступака одржавања и провера. Уз проширену употребу композитних материјала и титана у комбинацији са већим знањима о коришћењу алуминијума, очекивано је да ће модел 787 имати много нижи трошак непланираних одржавања. С обзиром да су у питању робусне структуре, посебна пажња се посвећује местима која су склона оштећењу. Тако на пример, путничка и теретна врата су конструисана да имају могућност поправке на тачно исти начин (истим поступцима) на који би се поправка вршила и данас са вијцима. Способност и могућност да се обаве вијчане поправке на композитним структурама доказана је на авиону Boeing 777. Могуће је упоредити време трајања поправке и вештина при том коришћених са

поправкама на металним летелицама. Конструктивно, вијчане поправке на композитним структурама могу бити трајне и отпорне на даља оштећења, баш као и на металним конструкцијама.

Поправке се могу вршити и на друге начине, на пример, спајањем. Ова врста поправке нуди побољшани аеродинамички и естетски квалитет поправке. Поправке су трајне, отпорне на даља оштећења, и не захтевају употребу аутоклава. Док типична поправка може захтевати 24 или више сати стајања авиона, искоришћено је својство композита да се развију нове могућности поступака поправке које захтевају мање од једног сата.

На крају, смањени ризик од корозије и замора повезан са композитима у комбинацији са могућим поступцима поправке композитних структура који су описани, смањују укупне трошкове одржавања и повећавају приход авиокомпанијама јер се летелице користе максимално.

3.7 Ризици и проблеми коришћења композита

Ризик коришћења композита у изради трупа оставља одређену дозу забринутости јер угљенична влакна, за разлику од метала, не показују видљиво пукотине и замор самог материјала. Зато, авион Airbus A350, користи традиционалнији приступ, па композитне панеле користи за израду оквира, што представља мањи ризик. Недостатци се огледају и у случајевима несрећа, када се авион упали, јер композитни материјали приликом горења ослобађају токсичне гасове. Ови гасови могу представљати велики проблем путницима и смањују могућност преживљавања.

Проблем могу представљати и порозна својства композита, која допуштају да они апсорбују нежељену влагу. Када летелица достигне висину (и док се пење до те висине), влага се шири и може проузроковати деламинацију композитних материјала (слојева), и тиме ослабити саму структуру током времена.

Композити не кородирају, али на њих утиче фотооксидацијски процес. Као резултат тога композити морају бити лакирани (бојени).

Други проблем произилази из ризика од удара грома, из разлога што композити имају неколико хиљада пута мању електричну проводност од

алуминијума, чиме се повећава ризик од оштећења. Заштита удара од муње мора да задовољи захтеве које је поставио FAA.

4. ЗАКЉУЧАК

У зависности од врсте и особина система развијен је низ различитих техника израде композитних материјала. Тако се композити стакло/полиестер добијају техником ручног слагања (hand lay-up), уз умрежавање на собној и догревање на температурама до 100°C. Композити са епоксидним и термопластичним матрицама добијају се техникама врућег пресовања на повишеним температурама, пресовањем препрега или стока слојева влакана и матрице у калупима или у аутоклавима, или пак, техником контактнoг вакуум пресовања. Цилиндрични или сферични делови од композита добијају се техником машинског намотавања, а композитни делови ојачани континуалним влакнима израђују се техникама екструзије, пултрзије и пулформинга.

Усавршени композити на бази континуалних влакана и полимерних матрица прогресивно замењују класичне конструкционе материјале (нарочито метале) у многим областима.

Са повољним односом између цене и особина, примена композита се повећала:

- хемијска индустрија
- електроника и информационе технологије
- бродоградња, приморска постројења (платформе за експлоатацију нафте)
- грађевинарство и инфраструктура
- аутомобилска и индустрија вагона
- војно и цивилно ваздухопловство
- медицина и стоматологија

У другом делу рада је посебана пажња поклоњена композитима у авиоиндустрији. Из чега се да извести следећи закључак:

Примена композитних материјала на борбеним авионима у новим условима зависиће од: освајања и усвајања нових технологија производње композита и њихове примене на новим конструкцијама.

Улога коју савремени композити имају у модерном ваздухопловству је неоспорна. Њиховом применом ваздухоплови су постали безбеднији, бржи, можда скупљи за израду али јефтинији у експлоатацији. Страна искуства показују да је неопходна аутоматизација процеса израде ако се жели добити јефтинија а квалитетнија композитна структура. Дакле, смањење времена израде великих композитних склопова и цене коришћења су битан фактор.

Са развојем нових врста материјала, пре свега композита, јавља се потреба за новим алатима и начинима обраде што даље продубљује проблематику. Треба искористити њихове добре механичке особине и економичност која се огледа у ниским ценама.

Садашње и нове генерације пројектаната прилагодиће се филозофији пројектовања нових композитних ваздухопловних структура. Даљи развој аутоматизације и роботизације ће примену композитних материјала раширити на још многе гране индустрије.

5.ЛИТЕРАТУРА

- [1] Момчило Стевановић: „Влакнима ојачани полимерни композити“, Београд 2002.
- [2] Leslie N Phillips: “Design with Advanced Composite Materials“, The Design Council, London
- [3] <http://www.compositesworld.com/articles/fabrication/methods>, преузето 5.09.2016.
- [4] Марина Радовић: „Израда композитних материјала“, семинарски рад под менторством проф.др. Драгана Милосављевића, ФИН Крагујевац, 2015.
- [5] Зоран Васић, Златко Петровић: “Савремени композитни материјали у пројектовању и производњи ваздухопловних конструкција“, Машински факултет Београд, 2015.
- [6] Данијел Томашић, Дипломски рад: “Примена композитних творевина у зракопловној индустрији“, Факултет стројарства и бродоградње Загреб, 2011.
- [7] М. Јовановић, В. Лазић, Д. Арсић: Наука о материјалима I (рукопис), Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2017.
- [8] Милорад Јовановић, Вукић Лазић, Драган Адамовић, Нада Ратковић: Машински материјали, Крагујевац, 2003.
- [9] Милосављевић Драган, Композити у индустрији моторних возила-могућност и ограничења, прво Југословенско саветовање: Влакнима ојачани композити у индустрији моторних возила, Крагујевац, 1995.
- [10] Радица Прокић Цветковић, Оливера Поповић: Машински материјали1, Машински факултет у Београду, Београд, 2012.