
**IMPACT OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF UD
PREPREG**

Svetlana Capeska

MIKROSAM A.D.Prilep, Republic of Macedonia svetled@mail.mikrosam.com;

Svetlana Risteska

Institute for Advanced Composites and Robotics (IACR) – Prilep, Republic of Macedonia
svetlanar@iacr.edu.mk;

Samoil Samak

MIKROSAM A.D.Prilep, Republic of Macedonia ssamak@mail.mikrosam.com;

Biljana Kostadinoska

Institute for Advanced Composites and Robotics (IACR) – Prilep, Republic of Macedonia
biljanak@iacr.edu.mk;

Abstract: Prepreg is the common term for a reinforcing fiber (fabric) which has been pre-impregnated with a resin system. This resin system (typically epoxy) already includes the proper curing agent. As a result, the prepreg is ready for composite parts. They provide great benefit in processing as the resin content is highly controlled, and the application is generally very clean, requiring little to no cleanup, unlike more commonly known "wet-layups". In manufacturing fiber-reinforced-plastic composite components, the use of prepregs reduces the work involved and provides stronger, stiffer and more reliable parts than equivalent components produced by wet lay-up processes like what is Filament winding technology. But these advantages will only be realized when prepregs with consistent properties are used. Prepregs consist of a layer of fiber or cloth impregnated with a partial mixture of monomers or oligomers, either in a solvent (solvent-type prepreg) or as a solvent-free medium (hot-melt type). In the case of a solvent-type prepreg, the impregnated reinforcement (prepreg) usually passes through a heating oven to decrease the solvent content. In this paper will be study the technological process of these impregnation for the production of unidirectional (UD) prepreg by a solvent procedure. This semi product as a UD tape will finds great application in advanced technological processes for the production of parts of aircraft or in the space industry by using automatic tape placement (ATP) machines. Because these materials are used in modern and automated composite machines, they should have excellent production properties. Therefore, in this paper, great attention will be paid to the technological parameters in the impregnation process that affect the final characteristics of UD prepregs. The width of UD prepreg is obtained as a function of the impregnation velocity, tensile of fiber, gap of rollers. Also and the heating length is also derived to give a possible combination of impregnation velocity and heating length to obtain a specific volatile content. This paper presents an experimental study of the impregnation of continuous glass fiber with thermosetting resin matrix materials. Results are obtained methodically through the separation of variables. It is found that the more technologies parameters are important in impregnation process. The model is valid for predicting width or surface weight (gr/m²) and % volatile content in the practical impregnation process for UD prepreg.

Keywords: prepreg, automatic placement, impregnation, curing

**ВЛИЈАНИЕ НА ТЕХНОЛОШКИТЕ ПАРАМЕТРИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА UD
ПРЕПРЕГ**

Светлана Цапеска

МИКРОСАМ А.Д. - Прилеп, Република Македонија svetled@mail.mikrosam.com

Светлана Ристеска

Институт за современи композити и роботика – Прилеп, Република Македонија
svetlanar@iacr.edu.mk;

Самоил Самак

МИКРОСАМ А.Д. - Прилеп, Република Македонија ssamak@mail.mikrosam.com;

Билјана Костадиноска

Институт за современи композити и роботика – Прилеп, Република Македонија
biljanak@iacr.edu.mk;

Резиме: Препрег е вообичаен термин за зајакнување на влакна (или ткаенина), кој е претходно импрегнирана со смолен систем. Овој смолен систем (е обично епоксиден) и веќе го вклучува соодветниот отврднувач за зацврстување. Како резултат на тоа, препрегот е подготвен за композитни делови. Тие обезбедуваат голема корист во обработката, бидејќи содржината на смола е високо контролирана, а апликацијата е генерално многу чиста, бара малку чистење, за разлика од попозната "влажна метода". Во производството на композитни компоненти, засилени со влакна, употребата на препрези ја намалува работата која е вклучена и обезбедува посилен, построги и посигурни делови од еквивалентните компоненти произведени од влажни процеси на поставување како што е технологијата за намоување за производство на композити. Но, овие предности ќе се користат само кога се користат препрези со одлични својства. Препрезите се составени од слој од влакна или ткаенина импрегнирани со мешавина на мономери или олигомери делумно, или во растворувач (solvent- вид на импрегнација) или како смолни системи без растворувач туку со топење (hot melt - вид на импрегнација). Во случај на препрег од типот на растворувач, импрегнираната содржина (позната под име препрег) обично поминува низ грејна печка за да се намали содржината на растворувачот. Во овој труд ќе се разработи технолошкиот процес на една ваква импрегнација за производство на унидирекционален препрег со растворувач - постапка. Овој добиен полупроизвод како унидирекционална трака наоѓа голема примена во современи технолошки процеси за производство на делови од авиони или во вселенската индустрија користејќи ги машините за автоматско полагање на трака (АТР). Бидејќи овие материјали наоѓаат голема примена во современи и автоматски сложени машини потребно е да имаат одлични особини при самото производство. Затоа во овој труд големо внимание ќе се посвети на технолошките параметри во процесот на импрегнација кои влијаат на конечните или крајните карактеристики на унидирекционални препрези. Ширината на UD препрег се добива како функција на брзината на импрегнација, затегнатоста на влакна, гапот на ролерите. Должината на грееењето е исто така изведено за да се даде можна комбинација на брзина на импрегнација и должина на грееење за да се добие одредена испарлива содржина во препрегот. Овој труд претставува експериментална студија за импрегнација на континуирано стаклено влакно со термореактивна смола. Резултатите се добиваат методично преку одделување на променливи. Се покажа дека параметрите за повеќе технологии се важни во процесот на импрегнација. Моделот важи за предвидување на широчина или површинска тежина (gr/m²) и % испарливи содржини во процесот на практична импрегнација за UD препрег.

Клучни зборови: препрег, автоматско полагање, импрегнација, печење

1. ВОВЕД

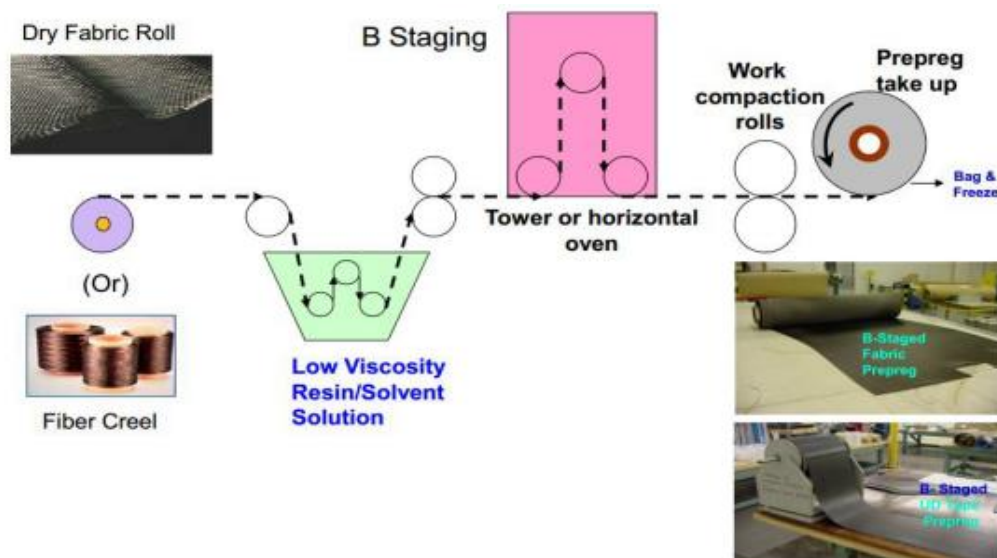
Тенденцијата на современиот свет е пронаоѓање на нови материјали кои со своите специфичности ќе се наметнат со нивната примена во најразлични комерцијални и индустриски апликации и ќе ги заменат традиционалните материјали. Иако одамна се познати композитните материјали сепак нивната примена е во пораст во последните десетина години. Поради тоа развојот, дизајнирањето и усовршувањето на технолошките процеси за производство на композити расти во нагорна линија. Композитните материјали наоѓаат се поголема примена во цивилната индустрија, посебно во градежната индустрија, во изградбата на мостови, патишта, згради, каде се повеќе се користат за замена на структурите изработени од конвенционални материјали (челици, бетон,...). Денес, е се поголема примената на композитните материјали во авио-индустријата, во воено/одбрамбените апликации, во сателитската индустрија, во автомобилската индустрија, во апликациите за искористување на енергијата на ветерот (ветерници) и друго. Една од најдобрите карактеристики на композитните материјали е слободата на инженерите во оптимизацијата на структурата на дизајнот и неговите перформанси. Композитните материјали се користат во повеќе форми; во форма на влакна, во форма на ткаенина (унидирекционално платно или платно добиено со ткаење, односно вкрстување на повеќе унидирекционални платна разместени едни во однос на други под различни агли) и во форма на препрег. Композитните производи добиени со препрег имаат повисок волуменски удел на влакната во композитните структури, во однос на композитните производи добиени со другите процеси, како Filament Winding процесот и процесот на пултрузија. Композитната индустрија се повеќе вложува во научни истражувања кои за цел имаат унапредување на процесната технологија за добивање на препрег, во изборот на материјалите како и во развој на технологиите кои користат препрег материјали како што се ATL и AFP технологијата.

Најновите линии за импрегнација – најнапредните технологии за импрегнација го надминуваат постоечкиот материјал и нудат најдобар квалитет на препрег – полупроизвод, согласно барањата на пазарот.

Препрегот (англ. 'PREimPREGnated') е материјал кој е составен од зајакнувач пре-импрегниран со матрица (смола) во точно контролирана количина. Препрегот е класифициран во две генерални категории (во зависност од користената матрица): термореактивен и термопластичен препрег. Препрегот најчесто се изработува во форма на ровинг препрег ('towpreg'), унидирекционална препрег трака ('UD tape') и во форма на ткаено платно ('woven tape'). Во овој труд ние ќе зборуваме за унидирекционална препрег трака ('UD tape') [1-10].

2. ТЕХНОЛОГИИ КОРИСТЕНИ ВО ТЕКОТ НА ИСПИТУВАЊЕТО

Флексибилноста и лепливоста на препрегот се основни карактеристики кои ја карактеризираат неговата соодветност во градењето на финалните композитни структури. Производство на препрег со потребните технички карактеристики ја наметнува потребата од контролирано следење на процесните параметри како клучно зависни променливи за квалитетот на добиениот препрег. До одреден степен, лепливоста на препрегот се контролира преку процентот на испарливи материји во препрегот. Иако поголемиот процент на испарливи материји во препрегот, влијаат на зголемување на лепливоста на препрегот, од друга страна влијаат и на профилот на промена на вискозноста за време на печењето во комората и има зголемен ризик од појава на порозност во композитните структури. Во дефинирањето на квалитетен препрег важна карактеристика исто така е и хомогеноста, односно распределбата на смолата во препрегот. Во производството на термореактивни препрези со солвент технологијата како важни параметри кои треба да се следат се меѓусебната поврзаност меѓу брзината на процесот, распределбата на смолата и содржината на испарливи материји.



Слика1. Шематски приказ на солвент технологијата за производство на термореактивен препрег

Испитувањата на влијанието на процесните параметри од технолошкиот процес врз крајните карактеристики на препрегот како полупроизвод е извршено на хоризонтална импрегнациона машина. Целта на овој труд е да се дадат тие параметри кои влијаат на крајните карактеристики на финалниот продукт-препрегот. Добиеениот препрег понатаму се користи за добивање на рамни и на комплексни композитни структури [11-17].

2.1. КАРАКТЕРИСТИКИ НА УНИДИРЕКЦИОНАЛЕН ПРЕПРЕГ

Пред започнување на процесот на дизајнирање и дефинирање на конструктивните особености кои треба да ги има една машина за добивање на препрег за конструкторот многу важно е точно дефинирање на карактеристиките што треба да ги има препрегот како финален производ како и карактеристиките на материјалите кои купувачот ќе ги користи за добивање на препрегот.

Материјали кои се користат во овој труд

Стаклени конци од Sinoma S glass fiber 12TEX YARN

Епоксидна смола од Huntsman Araldite LZ 5021/Aradur 1571/Accelerator 1573

Пресметките за тоа колку конци да се користат за дадени ширини се дадени во табела 1. Тоа е вредности како почетни кои се земаат во технолошкиот процес, но експериментите од овој труд ќе докажат дека и одредени параметри, брзина, гапот и тензијата на влакната ќе влијаат на ширината на траката, а со тоа соодветно и на тежината на финалниот препрег изрзено во гр/м²

Табела 1. Први теоретски пресметки за одредување колку конци да се користат за производство на одредена ширина на УД трака препрег.

UD prpreg PRESMETKI										
Numbers Yarn	Yarn tex (gr/1000m)	mass for 1m (gr/m)	Width (mm)	FAW (gr/m ²)	Wt resin (%)	UD prepeg (gr/m ²)	density glass fiber (kg/m ³)	density resin (kg/m ³)	density UD prepeg (kg/m ³)	tickness at UD prepeg (mm)
80	12	0,96	6,4	150,0	34	227,3	2560	1100	2064	0,11013
300	12	3,6	15	240,0	34	363,6	2560	1100	2064	0,17621
490	12	5,88	20	294,0	34	445,5	2560	1100	2064	0,21586
1020	12	12,24	55	222,5	34	337,2	2560	1100	2064	0,16340

Овие пресметки се теоретски кои треба почетно да се зема во зависност од тоа колку широк препрег сакаме или колку површинска тежина треба да има препрегот. Доколку сакаме да имаме поголема грамажа на препрегот тогаш треба да ја намалиме ширината на траката, а исто така да зголемиме број на конци кои треба да се присутни во технолошкиот процес за производство на УД прпрег.

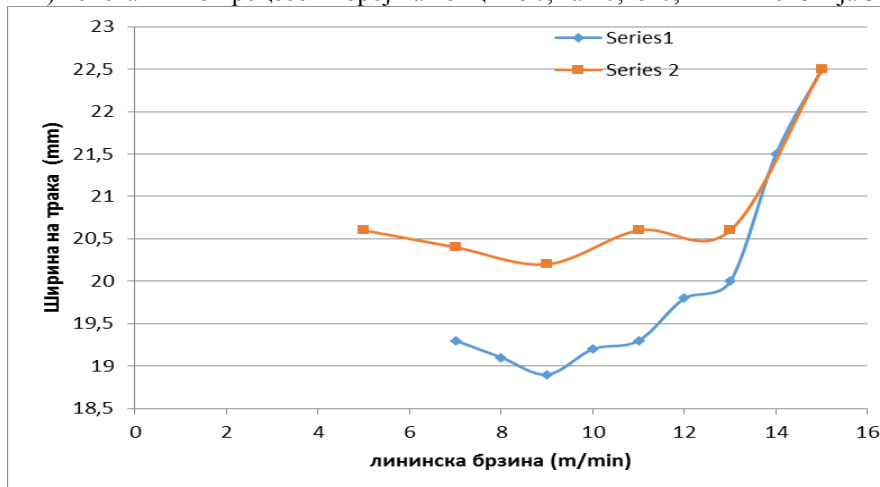
3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3.1. ВЛИЈАНИЕ НА БРЗИНАТА, ЛИНИСКАТА БРЗИНА И ГАПОТ НА ШИРИНАТА НА ТРАКАТА

Прв важен параметар во процесот на добивање на унидирекционален препрег е линиската брзина на процесот. При спроведените експерименти за утврдување на влијанието на промената на линиската брзина на процесот врз промената на ширината на препрег траката, како константни од параметри се земени: бројот на конците, гапот меѓу дозирните валјаци и тензијата. Сите параметри поставени во текот на експериментите дадени се графички.

Експеримент 1 Влијание на линиската брзина.

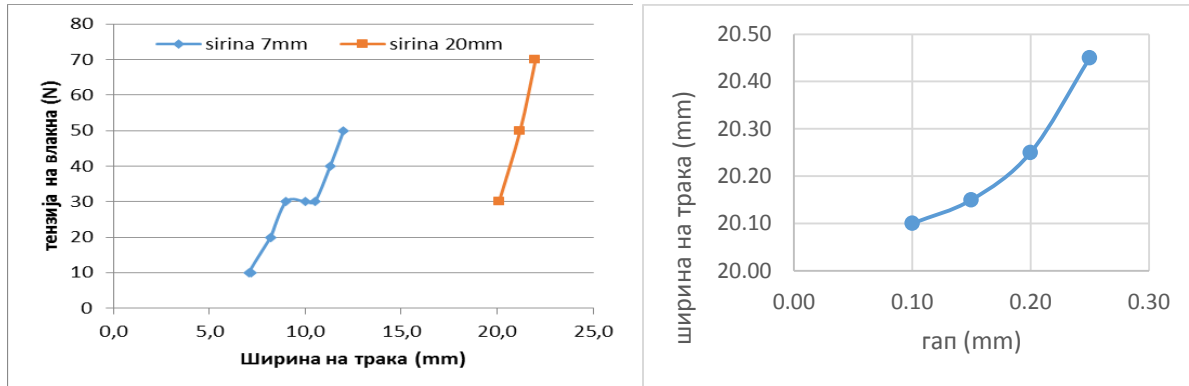
Анализи за влијанието на линиската брзина и ширина на препрегот (овие анализи се направени за препрег со ширина ~20 mm) константни во процесот - број на конци 490, гап 0,15-0,2mm и тензија 30 N.



Слика.2. Процесни параметри користени при дефинирање на препрег трака од 20mm (линиска брзина & ширина на трака)

Според прикажаните податоци во графикот се заклучува дека со зголемување на линиската брзина се зголемува и ширината на траката. Со промена на линиската брзина од 7m/min÷15m/min, се зголеми и

ширината на траката од 19.1mm÷22.5mm. При обратен процес намалување на линиската брзина од 15m/min до 7m/min, забележано е пропорционалниот однос на намалување на ширината на препрегот соодветно со големината на линиската брзина.



а) тензија & ширина на трака

б) гап и ширина на трака

Слика 3. Процесни параметри користени при дефинирање на препрег трака од 7 и 20 mm

Експеримент 2 Влијание на тензијата на влакната.

Во процесот на добивање на униректационалниот препрег многу важен параметар кој влијае на ширината на препрегот е зададената тензија во процесот. При експериментите како константни вредности се дефинирани растојанието - гапот меѓу дозирните ролери, бројот на конци и линиската брзина, а променливата варијабла е земена тензијата која се менуваше за 10N, во одреден ранг на вредности од 10N-50N. Вредностите од овие испитувања се прикажани графички. Влијанието на тензијата и ширината на траката со константи во процесот и тоа - број на конци 140, гап 0,1-0,15mm и линиска брзина 9 m/min слика 3 а). При ист гап (зazor) меѓу дозирните ролери, еднаков број на конци и иста линиска брзина, промената на тензијата е право пропорционална на промената на ширината на препрег траката. Односно, со зголемување на големината на тензијата при константни величини на горе спомнатите параметри, се зголемува и ширината на траката, и обратно; со намалување на големината на тензијата се намалува и ширината на траката.

Експеримент 3 Влијание на гапот на ролерите.

Гапот на ролерите влијае на % на смола на крајниот УД препрег, но автоматски влијае и на ширината на траката. Со зголемување на гапот меѓу ролерите се зголемува количината на % на смола во крајниот продукт, а со тоа и ширината на траката. Експериментален дел за влијание на гапот врз ширина на траката е дадено на слика 3 под б) и при константи во процесот - број на конци 490, за трака со 20mm ширина и тензија од 30 N.

3.2. ПРОВЕРКА НА КРАЈНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА УД ПРЕПРЕГ ДОБИЕН СО ПРЕДХОДНИТЕ ЕКСПЕРИМЕНТИ

По производство на сите УД препрег со најдобри параметри од предходно наведените технолошки параметри се направи проверка и пресметки по стандард за карактеристиките на произведениот УД препрег:

Пресметка на % на смола/ стакло

Со цел да се види колку е односот на стакло/смола во произведениот УД препрег, од секоја шпулна со помош на стандард (ASTM D 3529) се пресмета масениот процент на стакло во крајниот препрег. Користејќи ги равенките од стандардот се дојде до следниве резултати: процентот на стакло / смола во речиси сите произведени препрези е во граници 66.7м% , 67.12м% и 67.62м% стакло, додека остатокот припаѓа на смолата. Освен за експеримент 3 каде се менува гапот на ролерот и процентот на смола порасна за 2-3 %.

Пресметка на % на испарливи

Со цел да се потврдат технолошкиот параметри кои се користат во текот на пробите и да се види дали дизајнот и конструкцијата на машината соодветствуваат на потребите за производство на различни типови на препрег траки, користејќи го стандард ASTM D3530 од секоја шпулна се земени примероци и е пресметан процентот на испарливи материјали. За пресметката се користени формулите за пресметка од наведениот стандард. Sprema стандардот ASTM D3530, за униректационалниот препрег процентот на заостанати

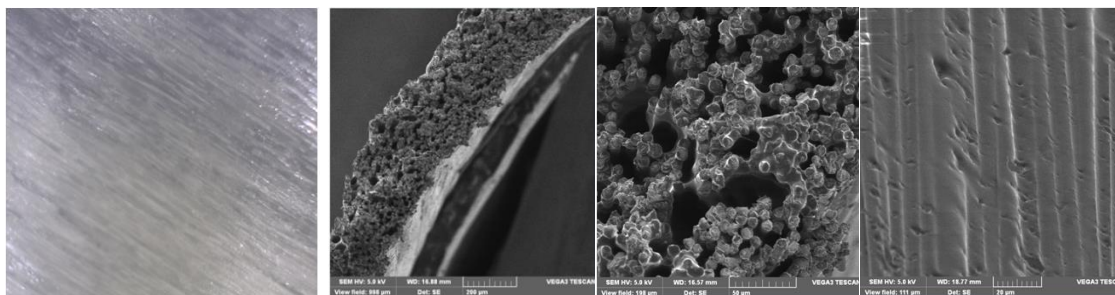
испарливи материи треба да биди 0,2-2%. Поголемиот процент на испарливи заостанати во препрегот ќе доведе до поголем процент на пори во крајниот композит, а тоа ги намалува механичките карактеристики на композитот. Испитувањата покажаа дека процентот на заостанати испарливи материи кај сите шпулни не е поголем од $0,5 \pm 0,6\%$, што не води до заклучок дека со машината е изработен препрег со висок квалитет.

Пресметка на течењето на препрегот

Користејќи го стандардот ASTM D3531, од сите проби се заклучи дека течењето на смолниот систем е 10%.

Анализа на интерфејсот на смола – влакно во препрегот

Оптичките слики и СЕМ анализи укажуваат за рамномерноста на смолата во препрегот, добар интерфејс меѓу влакното и смолата, минимално присуство на пори е во дозволените граници, а дебелината на траката е константа по цела должина.



Слика 4. Оптички микроскоп x150 и СЕМ анализа на UD стаклен препрег

Од добиените резултати и анализи на микроскоп се даде само еден дел од многу произведените препрези со технолошки процес на импрегнација на стаклени влакна со помош на машина за импрегнација произведена од Микросам А.Д. Прилеп. Техношкиот процес за импрегнација е добар за производство на квалитетен препрег кој после се користи во авиоиндустријата со автоматски машини за полагање на препрег за изработка на комплексни структури.

4. ЗАКЛУЧОК

Анализите го потврдија директното влијание на процесно-технолошките параметри врз карактеристиките на добиениот препрег.

- Ширината на препрегот зависи од бројот на конци, линиската брзина, тензијата и ролерите за калибрација на ширината на траката конци при импрегнацијата.
- Количината на смола во крајниот продукт зависи од гапот меѓу двата дозирни ролери, линиската брзина и вискозноста на смолата.
- В-времето на смолата за импрегнација, ги одредува температурите на печење на препрегот како и брзината на транспорт на траката низ печката.
- Сознанијата добиени преку експериментите се користат за добивање на поквалитетен краен производ

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Krishan K. Chawla (2013) Composite Materials: Science and Engineering (Materials Research and Engineering Third edition Springer, 541.
- [2] Svetlana Risteska and Maja Stefanovska(2012).Fibers for Advanced Composites Potentials for Growth Workshop-ICR-November -ACMS 2012
- [3] Haffner, Sascha M. (2002) Cost modeling and design for manufacturing guidelines for advanced composite fabrication, Massachusetts Institute of Technology. 495.
- [4] Daniel Gay, Suong V. Hoa (2007) Composite Materials:Design and Applications, Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis , 568
- [5] HexPly® Prepreg Technology. 2013, Publication No. FGU 017. Hexcel Registered Trademark, Hexcel Corporation, <http://www.hexcel.com/>
- [6] Mark E.Tuttle, (2013). Structural Analysis of Polymeric composites materials, second edition, CRC Press, Taylor Francis Group, 650.

- [7] ASTM D 3530 Standard. Standard Test Method for Volatiles Content of Composite Material Prepreg. An American National Standard, 2003.
- [8] ASTM D 3529 Standard. Standard Test Method for Matrix Solids Content and Matrix Content of Composite Prepreg. An American National Standard, 2003.
- [9] ASTM D 3531 Standard. Standard Test Method for Resin Flow of Carbon Fiber-Epoxy Prepreg. An American National Standard, 2003.
- [10] ASTM D 3532 Standard. Standard Test Method for Gel Time of Carbon Fiber-Epoxy Prepreg, An American National Standard, 2003.
- [11] courses.washington.edu/mengr450/Manufacturing.pdf, AMTAS
- [12] Liangfeng Sun, (2002) THERMAL RHEOLOGICAL ANALYSIS OF CURE PROCESS OF EPOXY PREPREG A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University, 139
- [13] DEPARTMENT OF DEFENSE HANDBOOK COMPOSITE MATERIALS HANDBOOK VOLUME 1. POLYMER MATRIX COMPOSITES GUIDELINES FOR CHARACTERIZATION OF STRUCTURAL MATERIALS, MIL-HDBK-17-1E (1997)
- [14] J.A.P. Cunha a, * , M. L. Costa b and M.C. Rezende (2008). Study of the hygrothermal effects on the compression strength of carbon tape/epoxy composites. Latin American Journal of Solids and Structures.157-170
- [15] Vernon M. Benson and Jonahira Arnold (2006).AUTOMATED FIBER PLACEMENT OF ADVANCED MATERIALS., SAMPE Published by Society for the Advancement of Materials and Process Engineering with permission
- [16] Paweł Poneta (2012),NEW INNOVATIVE PROCESSES FOR STRUCTURAL ELEMENTS IN COMPOSITE MATERIALS FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURES. CEOCOM, Krakov Ploand
- [17] Stephen W. Tsai 1st edition on (2008), STRENGTH AND LIFE OF COMPOSITES, Hard Bound, 672.