
THE COMPARE OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES AT AFP TECHNOLOGY WITH TWO TECHNOLOGIES FOR CURING**Biljana Kostadinoska**

Institute for Advanced Composites and Robotics (IACR) – Prilep, Republic of Macedonia

biljanak@iacr.edu.mk**Svetlana Risteska**

Institute for Advanced Composites and Robotics (IACR) – Prilep, Republic of Macedonia

svetlanar@iacr.edu.mk**Blagoja Samakoski**

Institute for Advanced Composites and Robotics (IACR) – Prilep, Republic of Macedonia

blagojas@iacr.edu.mk**Svetlana Capeska**MIKROSAM AD. Prilep, Republic of Macedonia svetled@mail.mikrosam.com

Abstract: The use of composite materials in aerospace, automotive and ship industry allows manufacturing lighter and more efficient mechanical structures. Indeed, proper use of the orthotropic properties of these materials enables further tailoring of the structure to the loadings than when using isotropic materials. However, this comes at the cost of a more complicated design and sizing process firstly because of the orthotropic behavior of composite materials but also because of the manufacturing process which induces specific constraints in the use of these materials. Polymer composites based on carbon fibers are used in a large number of applications. Since the unidirectional composite is the basic building part of the laminate in a composite structure and can be used to make general laminates, the most important is to examine it. Aim of this work is to determine the influence of angles and technologies for curing on the structural and mechanical properties of UD carbon fiber/epoxy laminate, manufactured with automatic fiber placement (AFP) technology. Unidirectional laminates were cured with two processes technologies - pressure and vacuum bagging. After curing (when the laminate passes in the C solid state is polymerized), the laminate is cut into samples of dimensions according to ASTM D3039 for tensile test. The specimen tabs were bonded with a thin adhesive film with low-temperature resistance. The tensile strength and modulus at different laminates with different technologies were calculated since ASTM 3039. The results have shown that the mechanical properties depend on technologies for curing. The results of the present study indicate that angles have a significant effect on composite failure mode. It is also found that the strength and modulus of UD composites both increased at samples curing with press technology. In this paper, study of the influence of fiber orientation on the structural and mechanical properties of laminate manufactured with help of AFP technology is presented. With help of mathematical method was achieved similar thickness on the all of manufactured composite parts, while mechanical properties studied include values of tensile strength, strain and modulus of elasticity. The results shown that with change of angles and technology for press curing can be achieved very good results in tensile strength by sample. It can be seen that sample with press curing technology and 0° angles have shown the best mechanical properties.

Keywords: composite, AFP, tensile strength, curing

**СПОРЕДБА НА МЕХАНИЧКИТЕ ОСОБИНИ НА ПОЛИМЕРНИ КОМПОЗИТИ
ПРОИЗВЕДЕНИ СО АВТОМАТСКА ТЕХНОЛОГИЈА СО ДВЕ РАЗЛИЧНИ
ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПОЛИМЕРИАЗЦИЈА****Билјана Костадиноска**

Институт за современи композити и роботика – Прилеп, Република Македонија

biljanak@iacr.edu.mk**Светлана Ристеска**

Институт за современи композити и роботика – Прилеп, Република Македонија

svetlanar@iacr.edu.mk

Благоја Самакоски

Институт за современи композити и роботика – Прилеп, Република Македонија

blagojas@iacr.edu.mk**Светлана Цапеска**МИКРОСАМ А.Д. Прилеп svetled@mail.mikrosam.com

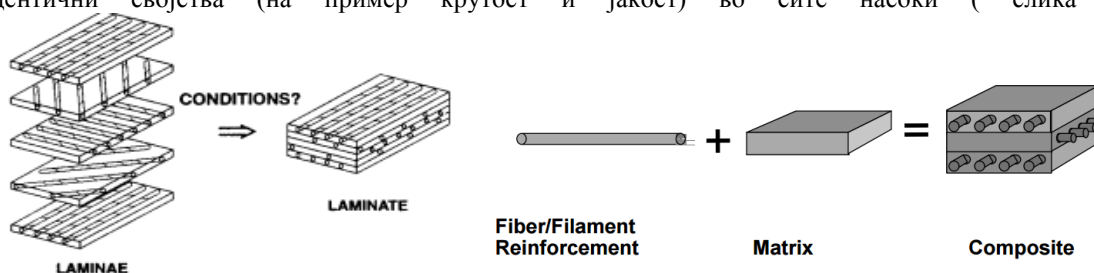
Резиме: Употребата на композитни материјали во воздушната, автомобилската и бродската индустрија овозможува производство на полесни и поефикасни механички структури. Со правилната употреба на ортотропните својства на овие материјали се овозможува понатамошно прилагодување на структурата на оптоварувањето, отколку кога се користат изотропни материјали. Сепак, ова доаѓа по цена на покомплициран процес на дизајнирање и процесирање, првенствено поради ортотропското однесување на композитните материјали, но и поради процесот на производство кој предизвикува специфични ограничувања во употребата на овие материјали. Полимерните композити составени со јаглеродни влакна се користат во голем број апликации. Бидејќи унидирекционалниот композит е основен градежен дел од ламина во композитна структура и може да се користи за да се направат општи ламинати е најзначајно да се проучи. Затоа целта на оваа работа е да се утврди влијанието на аглите и технологиите за полимеризирање (печење) на структурните и механичките својства на унидирекционални карбонски/епоксидни ламинати, произведени со технологија за автоматско полагање на трака. Унидирекционалните ламинати произведени со оваа технологија на автоматизирана машина можат да се полимеризираат (печат) со две различни технологии за печење, а тоа се, со загреана преса со даден притисок или во печка на одредена температура, но предходно ламинатот да е вакумиран и да биде под вакум и додека се печи. По стврднувањето (кога ламинатот премине во С цврста состојба се полимеризира), од ламинатот се сечат примероци со димензии според ASTM D3039 за тестирање на истегнување. Таповите на примероците се врзани со тенок леплив филм отпорен на ниска температура. Затегнувачката цврстина и модулот на истегнување кај различни ламинати произведени со различни технологии на полагање и печење се пресметани према стандартот ASTM D3039. Резултатите покажаа дека механичките својства зависат од технологиите за полимеризирање на матрицата во цврста состојба. Добиените резултати од оваа студија покажаа дека аглите имаат значително влијание врз режимот на пукање кај композитната анизотропна структура. Исто така, се откри дека силата и модулот на UD композитите се зголемуваат на примероците кои се полимеризираат со технологијата на притискање со загреана преса. Во овој труд е дадена студија за влијанието на ориентацијата на влакна врз структурните и механичките својства на ламинатот изработено со помош на автоматско полагање на траки – технологијата за образување на ламинат. Со помош на математички метод е постигната слична дебелина на сите произведени композитни делови, додека испитуваните механички својства вклучуваат вредности на цврстина на истегнување, деформација и модул на еластичност. Резултатите покажаа дека со промена на агли и технологија за полимеризирање може да се постигнат многу добри резултати во јачината на истегнување. Може да се види дека примерокот со технологијата за печење со загреана преса и кој е полаган со агол 0° покажа најдобри механички својства при испитување на истегнување.

Клучни зборови: композити, автоматско полагање, напрегање при истегнување, печење

ВОВЕД

Денес, композитни материјали се користат како грабени елементи во многу структури поради нивната многу мала тежина и супериорност во цврстината и силата, во однос на конвенционалните материјали. Една од најголемите разлики помеѓу композитите и конвенционалните материјали, како што се алуминиумските и железните легури, е таа што композитите се типично анизотропни материјали. Тоа значи дека карактеристиките на композитите се различни во различни насоки на материјалот и може да варираат во широк интервал на вредности. Кај композитите е отворена можноста технологот сам да дизајнира материјал со однапред детерминирани својства, кој ќе ја има потребната крутост и јакост за одредена намена и различно оптоварување. За разлика од композитите, конвенционалните материјали се изотропни и тие имаат

идентични својства (на пример крутост и јакост) во сите насоки (слика 1) [1-3].



Слика 1. Состав на композитен материјал Ламинат [4]

Оваа анизотропност овозможува композитите се повеќе да се применуваат во современите технологии денес на многу други места каде може да ги заменат конвенционалните материјали. Автоматското полагање на ленти од композит – унидирекционален препрег завзема примарно место во изградбата на производи за овие индустрии. Постојат два типа на автоматско полагање на композит од унидирекционален препрег кои во зависност од широчината на траката што ја полагаат и се делат на: автоматско полагање на танки ленти пресечен унидирекционален препрег со точна широчина т.е. AFP technology (Automate Fiber Placement technology), која технологија е и предмет на разгледување во овај труд, и втората технологија е автоматско полагање на пошироки траки унидирекционален препрег т.е. ATL technology (Automate Tape Laying technology) [5-14]. Важно е да се разбере дека за најголем дел композитни делови, јакоста на композитот е одредена од зајакнувачот, не од матрицата, иако таа е неопходна во поврзувањето на зајакнувачите – влакната и го пренесува оптеретувањето меѓу влакната во сите насоки и меѓу самите изградени слоеви [3]. Современите композитни материјали кои се произведуваат на машини за Автоматско полагање на влакна (АФП), кои пак работат со користење на УД препрег тенки ленти (slit tape) со различна мала ширина 6.35mm и 12.7mm.

1. МАТЕРИЈАЛИ КОРИСТЕНИ ВО ТЕКОТ НА ИСПИТУВАЊЕТО

Испитувањата опфатени во овај труд се изведени со користење на ленти унидирекционален препрег (карбонски влакна/епоксидна смола), добиени со сечење од поширока трака УД препрег произведен од фирмата – производител Hexcel тип M21/ 34%/ UD194/ IM7-12K со површинска тежина од 294g/m². Соодносот зајакнувач/смола во препрегот според производителот е 34м% смола и 66м% зајакнувач. Типот на карбонските влакната е IM7-12K (Intermediate Modulus Carbon Fiber), додека смолниот систем е M21, зајакнат (Toughened) епоксиден смолен систем со високи перформанси.

2. ТЕХНОЛОГИИ КОРИСТЕНИ ВО ТЕКОТ НА ИСПИТУВАЊЕТО

Во ова поглавие се дадени методи на експерименти кои се изведени при изработката на истражувачкиот труд. Во текот на експерименталната работата се користени:

1. АФП машина за автоматско полагање на влакна (тенки ленти) со ширина од 6.35 mm

2. Две технологии на печење:

- Пресовање , при што се користеше преса од фирмата Ламинати Прилеп
- Вакум постапка на печење која се изведуваше во Институтот СКР Прилеп.

3. Различни дизајни на ламинати и тоа:

- дизајн на ламинат со полагање на УД препрег под различни агли: [0/90/-45/0/90/-45/0] (8 слоја)
- дизајн на ламинат добиен само со полагање на УД препрег под агол [0°] (8 слоја)
- дизајн на ламинат добиен само со полагање на УД препрег под агол [-45°] (8 слоја)
- дизајн на ламинат добиен само со полагање на УД препрег под агол [90°] (14 слоја)

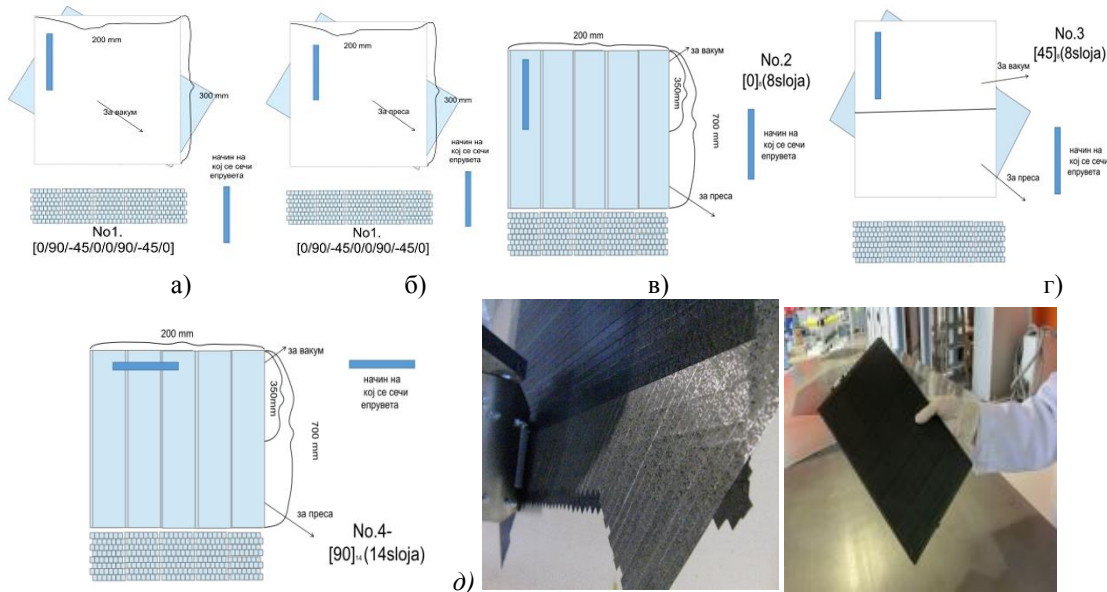
Епруветите се припремени според стандард ASTM D 3039 [15]. Идентификацијата на епруветите е направена со назначување на броеви за секој од нив посебно (види слика 2). Секој број претставува одредена променлива и тоа првиот број е број на повторливост на примерок, вториот број - дизајн на ламинатот (број од 1 - 4) , третиот број поврзана со технологијата на производство (АФП број од 2) и четвртиот број тип на печење вакум или пресување (број 1 или 2),.



Слика 2. Шема на ознаките на епруветите

3. АФП ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОЛАГАЊЕ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЛАМИНАТИ 3.1. ПОЛАГАЊЕ НА КОМПОЗИТЕН ДЕЛ СО ДИЗАЈН 1,2,3,4 СО АФП МАШИНА

За изработка на композитни ламинати со димензии 200x300mm со примена на АФП машината се користени 7 пресечени ленти со ширина 6,35mm. Полагањето е дадено на слика 4. При автоматското полагање на танки УД траки се изработени 4 различни композитни дизајни. При тоа се изработени 4 парчина со димензии 200x300mm од сите 4 дизајни. Пола од нив се користеа за печење со примена на преса и пола од нив за печење со вакуум. При полагањето се прави “растојание” од 1mm после една заедничка композиција од 7 слитувани траки. Начинот на изработка на композитните ламинати за сите четири дизајни и целиот процес на полагање на овие ламинати е прикажан на слика 3.



Слика 3. Начин на полагање на АФП машина и земање на примерок (епрувета): а) и б) за примерок со дизајн 1; в) за примерок со дизајн 2; г) за примерок со дизајн 3; д) за примерок со дизајн 4.

ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПЕЧЕЊЕ НА ЛАМИНАТИ ПРЕСУВАЊЕ

Композитните ламинати произведени со помош на современата технологија АФП, потоа се процесирани со постапка на печење со пресување. Температура на печење на препрегот е 180 °C во времетраење од два часа прикажана на слика 4. со контролирано загревање (1-2°C/min) и ладење (2-5°C/min) на печката и специфичен притисок за пресување е 16 kg/cm².

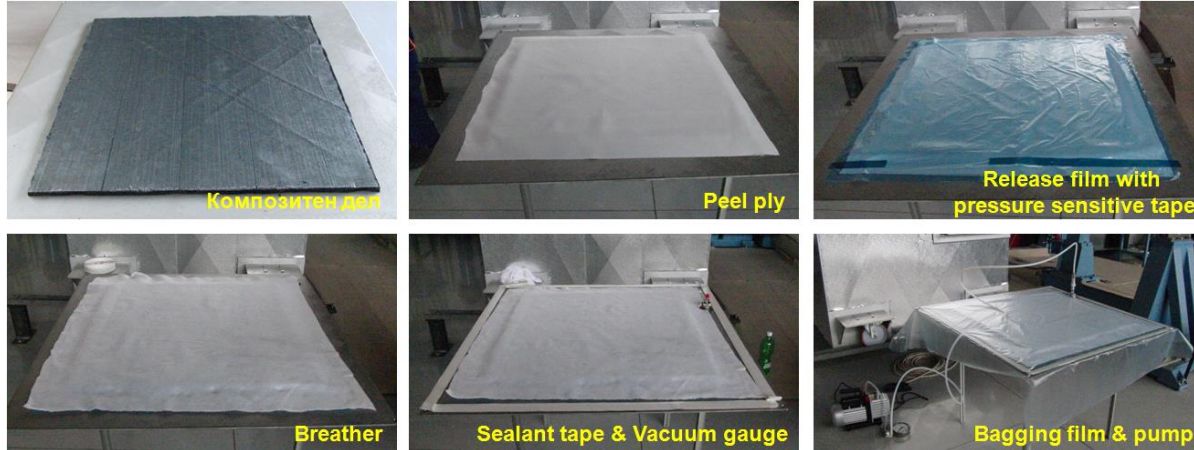


Сл.4. Хидраулична преса

Сл. 5. Финални Композити добиени со преса и вакуум постапка

VACUUM BAGGING

Припремата за постапката на вакуумирање има повеќе чекори како што е прикажано на слика 6. Вака вакуумиран композитинот дел се остава да се печи на температура од 180 °C во времетраење од 2 часа со контролирано загревање (1-2°C/min) и ладење (2-5°C/min) на печката.

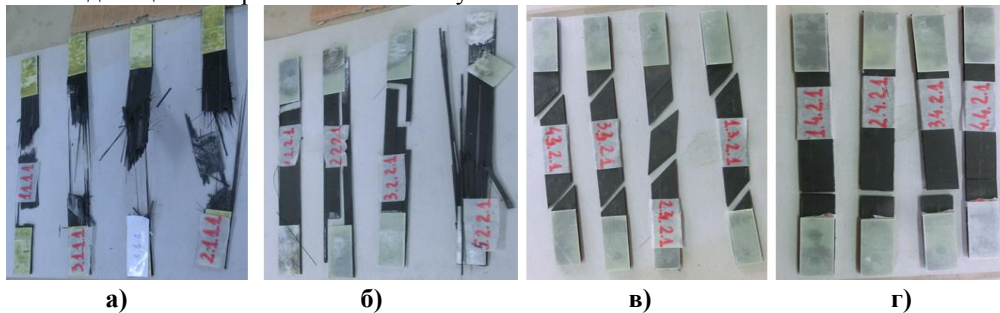


Слика 6 Режим за печење на вакуумиран композитен материјал

Вака припремениот дел се става во печка за печење со топол воздух на температура од 180 °C во период од 2 часа и со постојан вакуум од -0.9 bar. Во текот на печењето вакуумот мора да се одржува константен. После изведувањето на овие две технологии на печење се изработуваат епрувети со точно одредени димензии спремени за тестирање според стандард ASTM D 3039.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Епруветите од композитни ламинати, како што е спомнато во претходното поглавие, се спремени со димензии наведени во стандардот ASTM D 3039 [15]. На краевите на двете страни од епруветата се поставени тапови. Тестирањата на епруветите изложени на напрегање на истегнување се изведени на универзална кидалица со моќност од 250 kN со брзина од 5мм/мин. Кинењето на епруветите после испитување на кидалицата се прикажан со неколку слика 7.



Слика 7. Тестирани примероци за следниве агли а) дизајн (0°, 90° и 45°), б) 0°, в) 45°, г) 90 °

Табела 1 Димензии на епруветите произведени со АФП технологија

Примероци со AFP - Vacuum Bagging за полимеризација								
бр.	ширина	Цела должина	дебелина	Таб должина	Таб дебелина	Таб	Напрег. на истег.	Средно напр. На истег.
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Angle	F tu (Mpa)	
1.1.2.1	24.65	250	1.50	56	1.5	90	777.552	738.1
2.1.2.1	24.45	250	1.40	56	1.5	90	801.169	

3.1.2.1	24.40	250	1.55	56	1.5	90	681.518	1831
4.1.2.1	24.30	250	1.50	56	1.5	90	692.044	
1.2.2.1	24.70	250	1.50	56	1.5	90	1501.350	
2.2.2.1	25.00	250	1.50	56	1.5	90	2216.667	
3.2.2.1	24.90	250	1.50	56	1.5	90	1606.426	
4.2.2.1	25.00	250	1.50	56	1.5	90	2000.000	
1.3.2.1	25.00	250	1.50	56	1.5	90	56.667	57.4
2.3.2.1	25.00	250	1.60	56	1.5	90	60.625	
3.3.2.1	25.00	250	1.60	56	1.5	90	52.813	
4.3.2.1	25.00	250	1.60	56	1.5	90	59.375	
1.4.2.1	24.40	250	2.40	56	1.5	90	26.691	17.8
2.4.2.1	24.50	250	2.45	56	1.5	90	0.000	
3.4.2.1	24.50	250	2.50	56	1.5	90	12.653	
4.4.2.1	24.45	250	2.50	56	1.5	90	14.004	
Примероци со AFP – Пресовање за полимеризација								
бр.	ширина	Цела должина	дебелина	Tab должина	Tab дебелина	Tab	Напрег. на истег.	Средно напр. На истег.
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	Angle	F tu (Mpa)	
1.1.2.2	24.85	250	1.15	56	1.5	90	559.881	597.2
2.1.2.2	25.25	250	1.20	56	1.5	90	649.340	
3.1.2.2	25.30	250	1.15	56	1.5	90	653.033	
4.1.2.2	25.25	250	1.25	56	1.5	90	526.733	
1.3.2.2	25.20	250	0.80	56	1.5	90	1756.890	1925.8
2.3.2.2	25.60	250	0.75	56	1.5	90	1715.686	
3.3.2.2	25.60	250	0.75	56	1.5	90	1838.235	
4.3.2.2	25.60	250	0.90	56	1.5	90	2392.578	
1.2.2.2	25.40	250	1.00	56	1.5	90	26.042	35.5
2.2.2.2	25.50	250	1.00	56	1.5	90	35.156	
3.2.2.2	25.50	250	1.00	56	1.5	90	45.573	
4.2.2.2	25.60	250	1.00	56	1.5	90	35.243	
1.4.2.2	25.25	250	1.55	56	1.5	90	39.604	36.4
2.4.2.2	25.25	250	1.55	56	1.5	90	32.416	
3.4.2.2	25.25	250	1.35	56	1.5	90	38.137	
4.4.2.2	25.00	250	1.30	56	1.5	90	36.213	

Самата слика 7 е добар приказ на деформациите што се создаваат во композитните ламинати изработени со различни агли на полагање под дејство на напрегањето на истегане: епруветите од композитни ламинати кои се положани со агол 45° се кинат под тој агол, епруветите положани со агол 90° (радијално) се кинат под агол 90° , епруветите положани под агол 0° исто се распрснуваат по тие правци и на крај епруветите положани со дизајн на ламинат со комбинација од агли се распрснува различно (слика 7а). За да се има поголема прегледност на добиените резултатите изработена е нова табела 2 во која подетелно е дадена средната вредност на затегнувачката цврстина „Tensile strength“ за секој тип на композит со одредена метода за печење (процесирање) и за секој дизајн на агли кој е користен при полагањето. Од добиените вредности дадени во табела 2 може да се изведат неколку забелешки:

Лонгитудинално напрегање: Може да се каже дека примероците произведени со иста технологија на полагање (АФП технологија), исти дизајн на агли на полагање (со 0° агол), а користејќи различен процес на полимеризација, покажаа резултати на поголем напон на истегане за 5% на епруветите процесирани со пресување во однос на епруветите со вакуум процесирање.

Причина за оваа појава е подобри механички карактеристики кај процесирањето со преса е поради помалиот масен процент на смола во пробите или овој смолен систем бара печење со автоглав и вакуум порди поголемата вискозност на смолниот систем.

Табела 2 Резултати добиени со истегнување и споредба со технологиите на печење

Дизајн	Технологија на печење	VB	PR
	Технологија на полагање	AFP	
(45 ⁰ /0 ⁰ /90 ⁰)	1	738 MPa	597 MPa
0 ⁰ агол	2	1831 MPa	1926 MPa
45 ⁰ агол	3	57 MPa	36 MPa
90 ⁰ агол	4	17 MPa	36 MPa

Трансверзално напрегање: Исто како за лонгитудиналното напрегање така и за трансверзалното напрегање (дизајн 4), најголема вредност на напонот при напрегањето на истегнување од 36 MPa се постигна кај примероците приготвени со АФП технологија и процесирани со пресовање. Кај примероците кај кои се користи вакуум процесирање, вредноста на напонот при напрегање на истегнување се намалува дури за 52.7 % во споредба со пробите процесирани со пресирање.

Смолкнувачко напрегање: Кај епруветите кои се положани со агол 45⁰ (дизајн 3), најдобри резултати се добиени кај композитните ламинати кои се положани со АФП технологија и со вакуум процесирање.

Дизајн: Епруветите добиени со повеќе видови на агли на полагање (дизајн 1), каде не се испитува напрегање на истегнување на ламинат со комбинација на агли, дадени погоре во дизајн 1, дадоа најголеми вредности на напоните при кај примероците процесирани со вакуум технологија.

ЗАКЛУЧОК

Врза основа на изведените експерименти за полагање на траки препрег и добивање на композитни делови може да се заклучат повеќе важни работи. Резултатите покажаа дека механичките својства зависат од технологиите за полимеризирање на матрицата во цврста состојба. Добиените резултати од оваа студија покажаа дека аглите имаат значително влијание врз режимот на пукање кај композитната анизотропна структура. Исто така, се откри дека силата и модулот на UD композитите се зголемуваат на примероците кои се полимеризираат со технологијата на притискање со загреана преса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stephen W. Tsai (1985): Composites Design, 4 th edition pp 815
- [2] Daniel Gay , Suong V. Hoa, Stephan W. Tsai, (2003). Composite materials: Design and application
- [3] Isaac M. Daniel; Ori Ishai (2005): Engineering mechanics of composite materials
- [4] Robert M.Jones (1975): Mechanics of composite materials
- [5] P K Mallick (1993): Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Second Edition
- [6] Bryan Ellis (1993): Chemistry and Technology of Epoxy Resin; 678
- [7] Henry Lee, Kris Neville: Epoxy resin;
- [8] Wilbrand Woebcken, John Haim, David Hyatt (1995): International Plastics Handbook; Hanser Publishers, Munich Vienna New York
- [9] Проф. Др.Благоя Самакоски, Асс. Проф. Др. Светлана Ристеска (2013): Наши знания и опыт открывают тайны slitting/rewinding процессов;, Композитный мир | январь — февраль | №1
- [10] Bruce L. Butler VP: Computerized Traverse Winding for Converted Materials, Independent Machine Co.
- [11] Hans Berger (2003): Automating with SIMATIC- Integrated Automation with SIMATIC S7-300/400, 2nd revised edition
- [12] Salman Khan, (2011): Automated Fiber Placement Process Overview. Concordia University: Thermal Control System Design for AFP Process, chapter 2
- [13] Lukaszewicz, D. H. -J. A., Ward, C., & Potter, K. D. (2012): The engineering aspects of automated prepreg layup: History, present and future. Composites Part B: Engineering, 43(3), 997-1009. 10.1016/j.compositesb.2011.12.003
- [14] A. Bruce Hulcher, David M. McGowan and Brian W. Grimsley, (2001): Processing and Testing of Thermoplastic Composite Cylindrical Shells Fabricated by Automated Fiber Placement; NASA conferences.
- [15] Standard ASTM 3039 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, Annual Book of ASTM Standards Vol 03.01, 2000.