

## СРАВНИТЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА АДХЕЗИЯТА НА ЛЕПИЛНИ ФИЛМИ, ФОРМИРАНИ С КАРБАМИДФОРМАЛДЕХИДНИ И ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНИ ЛЕПИЛА

Панайот Панайотов, Галина Съйкова

Лесотехнически университет – София, e-mail: ppanayotov45@abv.bg;

e-mail: galina.saykova@gmail.com;

### РЕЗЮМЕ

В настоящия доклад експериментално е изследвана адхезията на лепилни филми, формиращи с карбамидформалдехидни и поливинилацетатни лепила към дървесина. Установено е влиянието на някои фактори (грапавост на слепваните повърхности, специфично налягане, температура) върху стойностите на адхезията. За целта са използвани пробни тела от дървесина на бук, карбамидформалдехидно лепило PREFERE 4114 и поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124“. Якостта на слепването е определена съгласно регламентите на БДС EN 302 и БДС EN 205.

**Ключови думи:** слепване; адхезия; дървесина; лепила реактивни; ПВА лепила;

### УВОД

От дълбока древност до наши дни културното и стопанското развитие на човечеството е тясно свързано с дървесината като суровина. То е започнало с опита на хората да произвеждат оръдия и инструменти на труда от дървесина, както и с използването ѝ като гориво. Тя е универсална суровина за задоволяване на различни потребности на човечеството в еднаква степен както в естествен вид, така и след подобряване на свойствата ѝ или след преработване. Като всеки материал дървесината има своите предимства и недостатъци. Предимствата ѝ са, че сравнително лесно се добива, лесно се обработва, сравнително евтина е като материал. Притежава високи якостни показатели при сравнително малка плътност. Добре се съпротивлява на ударни и вибрационни натоварвания. Дървесината се обработва лесно с машини и инструменти, като се получават изделия с различна форма. Слепва се добре. Има добра способност за задържане на винтове и

гвоздеи; отлични екологични свойства. Повечето дървесни видове имат декоративна текстура. Отпадъците от преработването ѝ не замърсяват околната среда. За подобряване на външния ѝ вид може да се байцва и лакира добре. Има малка топлопроводност, електропроводимост и звукопроводимост.

Един от съществените недостатъци на дървесината е, че не могат да се получават изделия с големи габаритни размери. Този недостатък изисква при изработването на едрогабаритни изделия, отделните детайли да бъдат слепвани.

Слепването е метод за неподвижно съединяване на срещулежащи повърхности на твърди тела. Съединяването на материалите чрез слепване се обуславя от силите на привличане на граничните повърхности, които са сили на сцепление между разнородните молекули, атоми, йони и химични групи, намиращи се в повърхностните слоеве на телата, които са в контакт. Тези сили се наричат адхезионни, а явлението се нарича адхезия.

Изборът на лепило за определен вид слепено съединение се извършва на базата на условията, при които ще се експлоатира изделието, вида на натоварванията и физико-химичната същност на материалите, които ще се слепват. Какво лепило ще се използва зависи от температурата и влажностните условия на експлоатация, регламентирани в стандартите БДС EN 204; БДС EN 205; БДС EN 301 и БДС EN 302.

### МАТЕРИАЛИ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕТОДИ

При избора на дървесина се взе предвид състоянието на мебелната индустрия и използваните от нея материали при производството на изделия. Експериментите са проведени с дървесина на бук (*Fagus silvatica L.*), тъй като е най-използваният у нас материал за производство на мебели. Дървесината се отличава с висока коравина и много добри механични показатели. За целта са изработени 400 бр. заготовки с размери 10/20/150 mm, последният по дължина на влакната. Влажността на пробите е  $8 \pm 2$  %. За получаване на пробни тела е приложено пластово лепилно съединение. Масата на всяка двойка от кондиционирани проби е измервана преди и непосредствено след нанасяне на лепилото с електронна везна с точност до 0,001 g. Нанасянето на лепилото е направено ръчно с четка върху двете прилепвани повърхности.

С цел изследване на влиянието на грапавостта върху адхезионната якост повърхнините на заготовките за получаване на пробните тела са подготвяни по три начина: 1. Надлъжно плоско фрезование (рендосване); 2. Шлайфане със шкурка със зърнистост № 40; 3. Шлайфане със шкурка със зърнистост № 80.

Грапавостта на получените повърхности, върху които ще се формира лепи-

лен филм е измерена с помощта на профилометър, модел PCE-RT1200, показан на Фиг. 1.



Фиг. 1. Електрически профилометър, мод. PCE-RT1200.

Пресоването е извършено в лабораторна хидравлична едноцилиндрова преса с възможност за нагряване и на двата плота до 250 °C (Фиг. 2).



Фиг. 2. Едноцилиндрова хидравлична гореща лабораторна преса.

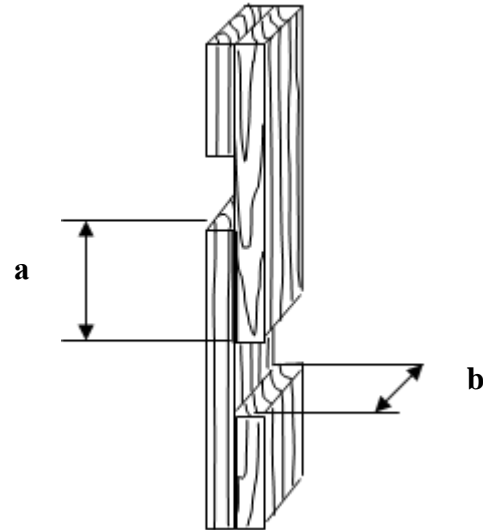
За провеждане на експерименталните изследвания, са избрани: поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124“, производство на фирма Jowat KG – Германия и карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114“, производство на фирма Duneа – Финландия.

ПВА лепилото „Jowacoll 124“ е с клас D4. Представява гъста бяла течност (дисперсия). Плътността му е 1,00 g/ml, при температура 25 °C. Концентрацията на водородните му йони (pH) е: = 7.

Лепилото „PREFERE 4114“ е нискотоксично, тъй като съдържанието му на свободен формалдехид е  $\leq 0,4$  %. Съдържа 60–70 % карбамид-формалдехидна смола, вода – 30–40 % и етандиол  $\leq 1,5$  %. Представява течност с жълто бял цвят. Има мирис на формалдехид.

Плътността му е 1,30 g/ml, при температура 25 °С. Концентрацията на водородните му йони (рН) е: = 8–9. За горещото втвърдяване на смолата е използван втвърдителя „Prefere 5272“. Този втвърдител е предназначен за получаване на работна смес, използвана за горещо лепене. Характеризира се със следния състав: алуминиев нитрат – 5 %; амониев хлорид – 10 %; органичен пълнител – 40 %; неорганичен пълнител – 15 %; вода – 30 %. Представява сиво - бяла течност с вискозитет 1800–2500 mPa.s при температура 25 °С. Концентрацията на водородните му йони (рН) е: от 3,7 до 4,3. Трайността на склад на този втвърдител при температура 20 °С е 3 месеца. Втвърдителите не трябва да се съхранява при температура под 10 °С поради опасност от замръзване. Жизнеспособността на лепилната смес зависи от температурата при която се съхранява и от количеството на втвърдителя. За провеждане на експериментите е получавана работна смес при тегловни (масови) съотношения 5:1. При това съотношение се гарантира жизнеспособност до 4 h. Времето на проникване на топлината в дървесината и от там в лепилният слой варира в зависимост от температурата на пресата, топлопроводимостта на дървесния материал и разстоянието до най- далечната точка – течния лепилен филм.

Стойностите на адхезията на лепилния слой (якостта на слепване) са определени съгласно регламентите на БДС 204/205 и БДС 301/302 върху пробни тела, показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Пробно тяло регламентирано от БДС EN 205 и БДС EN 301, използвано за изпитване на якостта слепване на лепила.

Адхезията ( $\sigma_a$ ) се изчислява с точност до 0,01 N/mm<sup>2</sup> по уравнение (1):

$$\sigma_a = \frac{F}{S} = \frac{F}{a \cdot b}, [N / mm^2] \quad (1)$$

където:  $F$  – разрушаваща усилие, [N];

$a$  и  $b$  размери на площта на разрушаване [mm];

Изчислява се средноаритметичната величина с точност до 0,01 [N/mm<sup>2</sup>].

Получените резултати са обработени вариационно-статистически по метода на най-малките квадрати. За проверка достоверността на разликите е изчисляван коефициента на Стюдент, изчислен по уравнение (2):

$$m_d = \frac{|Aver_1 - Aver_2|}{\sqrt{Error_1^2 + Error_2^2}} \quad (2)$$

Резултатите са достоверни при  $m_d \geq 3.00$

### РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗИ

Получените резултати са обработени вариационно статистически и са представени в таблици.

В Табл. 1 са представени данните относно стойностите на адхезията на лепилните филми, получени с дисперсионното ПВА лепило „Jowacoll 124“ към дървесината на бук в гореща преса (90 °C) при различни нива на грапавост.

В (Табл. 1.1) са представени стойностите на коефициентите на Стюдент, относно разликите в адхезията на лепил-

**Таблица 1. Адхезия на лепилен филм, формиран с ПВА лепило Jowacoll 124 в гореща преса (90 °C) при различни нива на грапавост**

Индекс	n, [бр.]	R <sub>a</sub> начална, [µm]	w, [%]	m, [g/m <sup>2</sup> ]	p, [N/mm <sup>2</sup> ]	Вариационни показатели					XP, [%]	
						Aver, [N/mm <sup>2</sup> ]	StD, [N/mm <sup>2</sup> ]	Eror, [N/mm <sup>2</sup> ]	V <sub>x</sub> , [%]	P <sub>x</sub> , [%]	Д	Л
R90ПВАPh	16	7,6	10,5	213	1,2	8,99	0,69	0,25	7,96	2,81	49	51
4090ПВАPh	16	9,9	10,2	223	1,2	10,32	0,24	0,84	2,30	0,81	65	35
8090ПВАPh	16	6,8	9,4	213	1,2	7,15	0,72	0,24	9,77	3,45	18	82

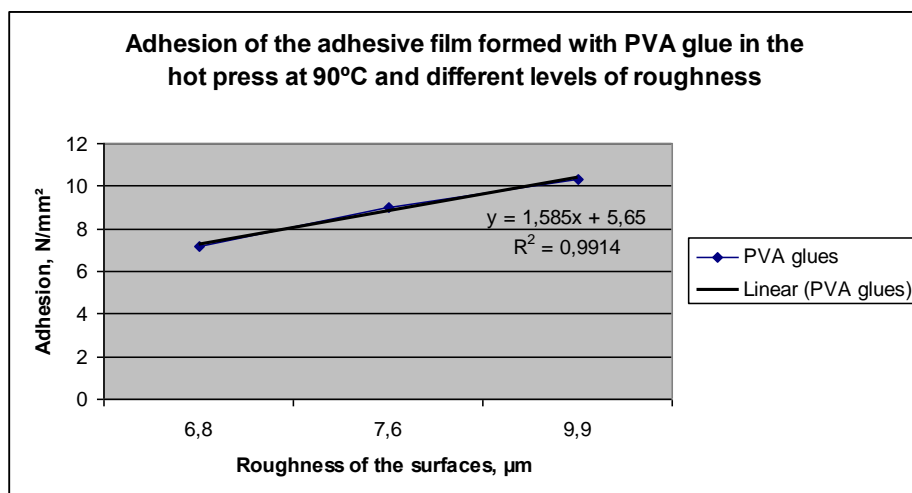
*Означения:* n – брой пробни тела; R<sub>a</sub> – средната стойност на грапавостта на слепваните повърхности; w – влажност на дървесината; m – разход на лепило; p – налягане; XP – характер на разрушаване;

**Таблица 1.1. Коефициенти на достоверност на адхезия на лепилен филм, формиран с ПВА лепило „Jowacoll 124“ в гореща преса при 90 °C и различни нива на грапавост.**

Индекс	R 90 PVA Ph	40 90 PVA Ph	80 90 PVA Ph
R 90 PVA Ph	-	1,51	5,15
40 90 PVA Ph	1,51	-	8,28
80 90 PVA Ph	5,15	8,28	-

При сравнителният анализ се установява, че с увеличаване на грапавостта на слепваните повърхности, стойностите на адхезията нарастват. Например, стойността на адхезията на лепилния филм при серия 4090ПВАPh при грапавост 9,9 µm е 10,32 N/mm<sup>2</sup>, а при серия 8090ПВАPh при грапавост 6,8 µm е 7,15 N/mm<sup>2</sup>. Разликата от 3,17 N/mm<sup>2</sup> е достоверна, тъй като стойността на коефициента на Стюдент е 9,03, т.е. по голяма от 3. Тази зависимост се описва най-близко с уравнение  $y = 7,1456 \cdot x^{0,3336}$  т.е. зависимостта е поли-

номна тъй като регресионният коефициент (R<sup>2</sup>) има стойност 0,9999. Това може да се обясни с механичната теория на слепването, според която лепилния филм се заклинява в порите на слепваните повърхности, каквато е дървесината [6]. Но следва да се отбележи, че тази тенденция е лимитирана до определени стойности на грапавостта. При много грапави повърхности, каквито са тези получавани с циркулярен трион, филма се разкъсва и се намаляват стойностите на адхезията [5].



Фиг. 4. Зависимост на адхезията на лепилен филм, формиран с ПВА лепилото „Jowacoll 124“ в гореща преса при различни нива на грапавост.

В Табл. 2 са представени средноаритметичните стойности на адхезията на лепилен филм формиран с ПВА лепило „Jowacoll 124“ в студена преса (20 °C) при различни нива на налягане. В Табл. 2.1 са представени стойностите на коефициентите на Стюдент, относно разликите в адхезията на лепилни филми,

формирани с ПВА лепило „Jowacoll 124“ в студена преса (20 °C) при различни нива на налагане. На Фиг. 5 е представена графично зависимостта на стойностите на адхезията на лепилен филм, формиран с ПВА лепило „Jowacoll 124“ в студена преса (20 °C), от налягането.

Таблица 2. Адхезия на лепилен филм формиран с ПВА лепило „Jowacoll 124“ в студена преса (20 °C) при различни нива на налягане, на надлъжно плоско фрезовани повърхнини.

Индекс	N [бр.]	R <sub>a</sub> [μm]	w, [%]	M, [g/m <sup>2</sup> ]	p, [N/mm <sup>2</sup> ]	Вариационни показатели					XP [%]	
						Aver, [N/mm <sup>2</sup> ]	StD, [N/mm <sup>2</sup> ]	Eror, [N/mm <sup>2</sup> ]	V <sub>s</sub> , [%]	P <sub>s</sub> , [%]	Д	Л
R20ПВАРn	16	6,6	12,7	191	0,4	8,36	0,54	0,17	6,03	2,12	71	29
R20ПВАРs	16	6,6	13,4	218	0,8	10,16	0,43	0,15	4,28	1,51	93	7
R20ПВАРh	16	6,6	12,2	198	1,2	10,41	0,99	0,35	9,57	3,38	74	26

Означения: n – брой пробни тела; R<sub>a</sub> – средната стойност на грапавостта на слепваните повърхности; w – влажност на дървесината; m – разход на лепило; p – налягане; XP – характер на разрушаване;

Таблица 2.1. Коефициенти на достоверност на адхезия на лепилен филм, формиран с ПВА лепило в студена преса при 20 °C при различни налягания

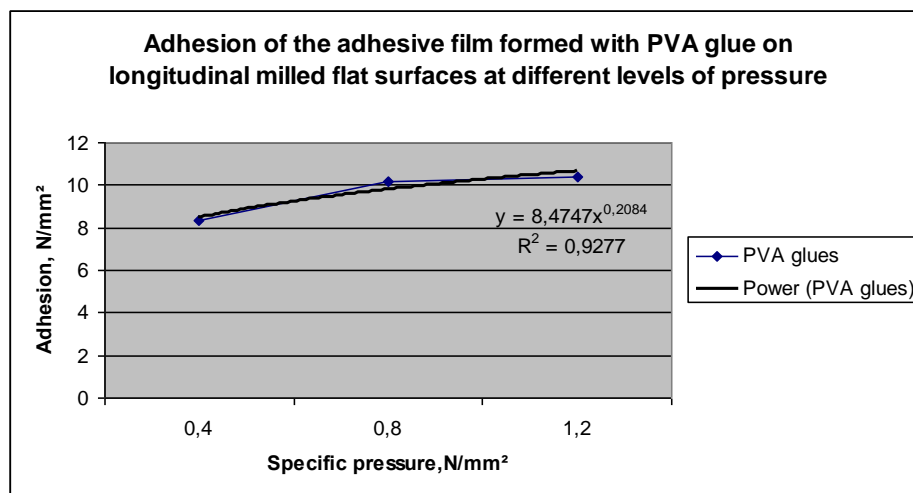
Индекс	R 20 PVA Pn	R 20 PVA Ps	R 20 PVA Ph
R -20 PVA Pn	-	2,31	3,29
R -20 PVA Ps	2,31	-	1,11
R-20 PVA Ph	3,29	1,11	-

При сравнителният анализ се установява, че с увеличаване на специфичното налягане на слепваните повърхности стойностите на адхезията нарастват.

Например, стойността на адхезията на лепилния филм при серия R-20 PVA Pn при налягане 0,4 N/mm<sup>2</sup> е 8,36 N/mm<sup>2</sup>, докато стойността на адхезията на ле-

пилния филм при серия R-20 PVA Ph при налягане  $1,2 \text{ N/mm}^2$  е  $10,41 \text{ N/mm}^2$ . Разликата от  $2,05 \text{ N/mm}^2$  е достоверна тъй като стойността на коефициента на Стюдент е 3,29, т.е. по голяма от 3. Тази зависимост се описва най-близко с уравнение  $y = 8,4747x^{0,2084}$   $R^2=0,9277$ . Това дава ос-

нование да се твърди, че специфичното налягане на спресоване оказва положително влияние върху стойностите на адхезията. При по-високото налягане се формира по-тънък и по-равномерно разпределен лепилен филм [5].



Фиг. 5. Влияние на налягането върху адхезията на лепилен филм, формиран с ПВА лепило „Jowacoll 124“ върху букова дървесина.

В Табл. 3 са представени средноаритметичните стойности на адхезията на лепилен филм формиран с лепило PREFERE 4114 в гореща преса ( $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при различни нива на грапавост. В Табл. 3.1 са представени стойностите на коефициентите на Стюдент, относно разликите в адхезията на лепилни филми,

формирани с лепило PREFERE 4114 в гореща преса ( $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при различни нива на грапавост. На Фиг. 6 е представена графично зависимостта на стойностите на адхезията на лепилен филм, формиран с лепило PREFERE 4114 в гореща преса ( $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ), от грапавостта.

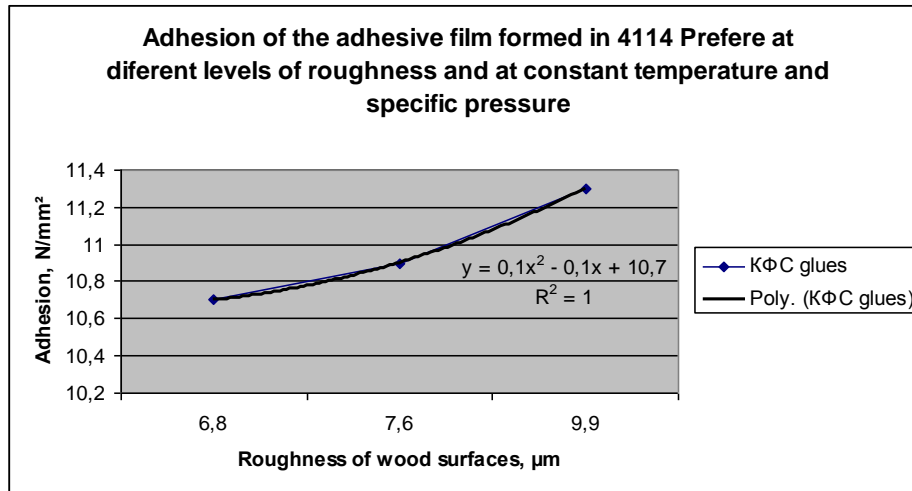
Таблица 3. Адхезия на лепилен филм формиран с КФЛ PREFERE 4114 при постоянна температура ( $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и налягане и различни нива на грапавост.

Индекс	N [бр.]	R <sub>a</sub> [μm]	w [%]	M [g/m <sup>2</sup> ]	p, [N/mm <sup>2</sup> ]	Вариационни показатели					XP, [%]	
						Aver, [N/mm <sup>2</sup> ]	StD, [N/mm <sup>2</sup> ]	Eror, [N/mm <sup>2</sup> ]	V <sub>xy</sub> [%]	P <sub>xy</sub> [%]	Д	Л
R120UFPh	16	7,6	10,5	213	1,6	10,9	0,69	0,22	5,7	2,21	49	51
40120UF Ph	16	9,9	10,4	381	1,6	11,3	0,78	0,27	6,9	2,91	87	13
80120UF Ph	16	6,8	9,4	201	1,6	10,7	0,45	0,16	4,2	1,49	92	8

Означения: n – брой пробни тела; R<sub>a</sub> – средната стойност на грапавостта на слепваните повърхности; w – влажност на дървесината; m – разход на лепило; p – налягане; XP – характер на разрушаване;

Таблица 3.1. Коефициенти на достоверност на адхезия на лепилен филм, формиран с КФЛ UF ле-пило в гореща преса при 120 градуса, различни налягания и различни нива на грапавост

Индекс	40 120 UF Ph	80 120 UF Ph	R - 120 UF Ph
40 -120 UF Ph	-	1,56	4,22
80- 120 UF Ph	1,56	-	2,98
R- 120 UF Ph	4,22	2,98	-



Фиг. 6. Влияние на грапавостта на дървесната основа върху адхезията на лепилни филми, формиран с лепило Prefere 4114.

При сравнителният анализ се установява, че с увеличаване на грапавостта на на слепваните повърхности стойностите на адхезията нарастват. Например, стойността на адхезията на лепилния филм при серия 40-120 UF Ph при грапавост 9,9  $\mu\text{m}$  е 11,3  $\text{N}/\text{mm}^2$ . Разликата от 0,7  $\text{N}/\text{mm}^2$  не е достоверна, тъй като стойността на коефициента на Стюдент е 2,63, т.е. по малка от 3. Тази зависимост се описва най-близко с уравнение  $y = 0,1x^2 - 0,1x + 10,7$   $R^2 = 1$ , т.е зависимостта е полиномна. Това може да се обясни с механичната теория на слепването.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати дават основание да се твърди, че адхезията на лепилните филми най-съществено зависи от грапавостта на прилепваните дървесни повърхности. С увеличаване на грапа-

востта нарастват и стойностите на адхезията.

### ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 204 – 91. Лепила за неносещи елементи от дървесни материали. Класификация.
2. БДС EN 205 – 91. Лепила. Лепила за неносещи елементи от дървесина. Определяне якостта на слепване при натоварване на лепилния шев за срязване при опън на припокрити.
3. БДС EN 301-06. Фенолни и аминопластови лепила за носещи дървени конструкции. Класификация и експлоатационни изисквания.
4. БДС EN 302/1-06. Лепила за носещи дървени конструкции. Методи за изпитване. Част 1: Определяне здравина на залепване чрез якост на срязване при опън в надлъжна посока.
5. Москвитин, Н.И., (1974). Физико- химическите основи процесов прилипания. Издателство “Лесная промышленность”. Москва.
6. Панайотов, П., (2002). Лепила и материали за защитно-декоративни покрития. ИК при ЛТУ – София.
7. [www.dynea.com](http://www.dynea.com)
8. [www.jowat.de](http://www.jowat.de).

**COMPARATIVE CARRY OUT OF ADHESION OF THE ADHESIVE FILMS  
FORMED BY CARBAMIDEFORMALDEHYDE AND ACETATE POLYMER  
ADHESIVES**

**Panayot Panayotov, Galina Saykova**  
**University of Forestry – Sofia, e-mail: ppanayotov45@abv.bg;**  
**e-mail: galina.saykova@gmail.com;**

**ABSTRACT**

This report experimentally examined adhesion of adhesive films formed by carbamidoformaldehyde and polyvinylacetate adhesives to wood. It is influence of some factors (roughness gluing surfaces, specific pressure, temperature) on the values of adhesion. For this purpose used test fixtures from beech wood, glue carbamidformaldehyde PREFERE 4114 and polyvinylacetate polymer adhesive Jowacoll 124.00. Strength of adherence was determined under the regulation of EN 302 and BS EN 205.

**Key words:** gluing; adhesion, wood, reactive glues; PVAc adhesives;