



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ- СОФИЯ

Факултет „Горска промишленост”

Катедра „Производство на мебели”



ИНЖ. ГАЛИНА ВАСИЛЕВА КУТОВА

**Сравнителни изследвания на адхезията на лепилни и защитно- декоративни
филми към дървесина и дървесни материали**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и
научна степен „доктор”

Област на висшето образование: 5. „Технически науки”

Професионално направление: 5.13 „Общо инженерство”

Научна специалност: „Технология, механизация и автоматизация на
дървообработващата и мебелната промишленост”

Научен ръководител: проф. д-р инж. Панайот Ангелов Панайотов

Рецензенти: проф. д-р инж. Димитър Христов Ангелски
проф. д-р инж. Ненчо Станев Делийски

София, 2025

Дисертационният труд е общ обем от 201 страници. В текста са включени 44 уравнения, 56 таблици и 56 фигури. Използваната литература включва 310 източници, от които 42 на кирилица, 229 на латиница, 32 стандарта (на кирилица и латиница) и 7 интернет източници.

Настоящата дисертационна работа е разработена по време на редовно обучение за придобиване на образователна и научна степен „доктор” към катедра „Производство на мебели”, факултет „Горска промишленост” при Лесотехнически университет, София. Всички изследвания по дисертационния труд са проведени в лабораториите на Лесотехнически университет, София.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 09.09.2025 год. от 13:00 часа в зала „Мако Даков” на Лесотехнически университет, гр. София, на открито заседание на Научно жури, утвърдено със заповед на ректора на ЛТУ № ЗПС – 229/23.04.2025 год. в състав:

Председател: проф. д-р инж. Димитър Христов Ангелски – вътрешен - рецензия

Членове: проф. д-р инж. Панайот Ангелов Панайотов – външен - становище

проф. д-р инж. Живко Бонев Гочев – вътрешен - становище

проф. д-р инж. Ненчо Станев Делийски – външен - рецензия

проф. д-р инж. Иво Владимиров Вълчев – външен - становище

Резервни членове: проф. д-р инж. Виктор Петров Савов – вътрешен

проф. д-р инж. Славчо Асенов Соколовски - външен

Материалите по защитата на дисертацията са на разположение на заинтересованите на интернет страницата на Лесотехнически университет, София (<http://www.ltu.bg/>), както и в деканата на факултет „Горска промишленост”, стая 221, сграда А, Лесотехнически университет, гр. София, бул. „Климент Охридски” № 10.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Адхезията на лепилни и защитно-декоративни покрития е ключов фактор за качеството, устойчивостта и ефективността на продуктите в мебелната индустрия, като е също така свързана с иновациите и развитието на нови технологии и материали. Един от основните индикатори е издръжливостта и устойчивостта на покритията към околната среда. Адхезията между защитно-декоративните покрития и дървесните повърхнини е от съществено значение за дълготрайната стабилност и устойчивост на покритията, както и за предотвратяване на тяхното дефектиране или разрушаване под въздействието на неблагоприятни атмосферни влияния. С напредъка в развитието на нови материали и технологии, значението на адхезията става още по-актуално, тъй като съвременните лепилни системи и защитни покрития изискват научно обосновани подходи за постигане на оптимална адхезия към различни повърхнини. Освен това, съвременните екологични изисквания в производството налагат употребата на високоефективни лепила и покрития, които са безопасни за човешкото здраве и околната среда. В този контекст, нарастващото търсене на материали с ниски нива на летливи органични съединения (VOC) цели не само да осигури дълготрайност на продуктите, но и да намали вредното въздействие върху екосистемите. Естетическото значение на защитно-декоративните покрития е също от съществено значение, като те не само че осигуряват желаната визуална характеристика на продуктите, но и изпълняват функция за защита срещу механични увреждания и агресивни химични въздействия. Оптималната адхезия между покритията и дървесните повърхнини е фундаментален фактор, гарантиращ високи стандарти за качество, естетическа завършеност и дълготрайна функционалност и ефективност на покритието в контекста на неговото поведение при екстремни условия.

Обект на изследването

Обект на настоящия дисертационен труд е адхезионната якост на водоразредима полиуретанова и водоразредими акрилатни системи, формирани върху дървесина и плоча от дървесни влакна със средна плътност, както и на поливинилацетатни и карбамидформалдехидни лепилни съединения, изградени върху масивна дървесина.

Апробация на работата

Резултатите от дисертационния труд са докладвани и обсъждани в катедра „Производство на мебели“ при Лесотехнически университет – София, като част от тях са публикувани в сборници с доклади от научно-технически конференции.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I: СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

В първа глава са разгледани основните фактори и процеси, които оказват влияние върху адхезионната якост на защитно-декоративни покрития и лепилни съединения. Специално внимание е отделено на следните проблеми:

- ✓ **Влияние на структурата и физико-механичните свойства на дървесината и дървесните материали**, които играят ключова роля за адхезията на покритията и лепилата към повърхнината на материала;
- ✓ **Въздействие на грапавостта на основата** като важен индикатор за оценка на промените в профила на повърхнината. Разгледани са параметри на грапавост и в частност средно аритметичното отклонение на оценявания профил (R_a), методите за тяхното измерване и подходите за минимизиране на измервателните грешки чрез филтриране;
- ✓ **Влияние на шлифването и неговите параметри** върху стойността на R_a на дървесните повърхнини, както и върху качеството на формираните защитно-декоративни покрития и лепилни филми, като се анализират взаимовръзките между шлифовъчните операции и адхезионните характеристики;
- ✓ **Обзор на методите за получаване и характеристиките на филмообразуващите системи и лепилни филми**, включително спецификата на тяхното втвърдяване, както и анализ на техните предимства и недостатъци;
- ✓ **Анализ на характеристиките на контактните зони** и утвърдените модели, описващи поведението на трифазната система (основа, лепило/покритие, контактна зона). Разгледани са явленията и процесите, които определят формирането на лакови покрития и лепилни съединения и тяхната зависимост от микро- и макроструктурни особености на контактните повърхнини;
- ✓ **Преглед на утвърдените методи и иновативни подходи** за оценка на адхезионните взаимодействия, включително нови техники и технологии за изследване и количествено определяне на адхезионните свойства на различни системи.

Въз основа на направеният преглед на литературните източници относно процесите и явленията, оказващи влияние върху адхезията при лепилни и защитно–декоративни филми, са направени следните **изводи**:

1. Характеристики на дървесината, присъщи за нейната органична нехомогенна пореста структура, оказват разнопосочно въздействие върху адхезионната якост на

защитно-декоративните покрития и лепилните съединения. Те могат да бъдат ограничени и управлявани, чрез правилен подбор на материали, режими и инструменти на обработване.

2. Грапавостта на дървесната повърхнина се определя като многофакторен показател, оказващ влияние върху избора, приложението и експлоатационните характеристики на покритията и на лепилните съединения.
3. Установено е, че процесът на шлифване влияе върху микрорелефа и намалява анизотропията на дървесните повърхнини. Измененията могат да бъдат оценявани чрез параметрите на грапавост.
4. Задълбочено е изследвано влиянието на размера на абразивните зърна върху стойностите на параметрите на грапавост за повърхнини от различни видове дървесина и дървесни материали.
5. В литературата са намери данни, че процесът на шлифване, повишава повърхностната енергия, което увеличава адхезията между течните състави и основата.
6. Явленията протичащи на граничната повърхнина са в корелация от грапавостта и химическия състав и структурата на твърдата основа, химичната природа и свойствата на течния състав и от параметрите на заобикалящата среда.
7. Качествените и експлоатационни показатели на готовите повърхностни покрития и лепилни съединения, са в пряка зависимост от мокрещата и разливаща способност на течния състав.
8. Качеството на повърхностните покрития, формирани върху дървесина и дървесни материали, в частност MDF плочи, се намалява с увеличаване на относителната влажност.
9. Съществуват утвърдени и стандартизирани методи за установяване на адхезионна якост на лепилни съединения и защитно - декоративни покрития.
10. Няма достатъчно информация как зърнистостта на шкурката влияе върху адхезионната якост на съвременните водоразредими акрилатни и водоразредими полиуретанови покрития, формирани върху дървесина и дървесни материали.
11. В литературните източници няма достатъчно информация за влиянието на грапавостта на повърхнините от различни дървесни видове и плочи от дървесни влакна със средна плътност, върху адхезионната якост на изградените върху тях водоразредими акрилатни и водоразредими полиуретанови покрития.
12. Недостатъчни са данните, отразени в литературните източници, относно

адхезионната якост на водоразредими акрилатни и водоразредими полиуретанови покрития, формирани върху основа от различни дървесни видове и дървесни материали.

13. Няма достатъчно информация как грапавостта на дървесината повърхнина влияе върху адхезионната якост на поливинилацетатни и карбамидформалдехидни лепилни съединения.
14. Няма намерена информация, относно адхезионната якост на поливинилацетатно лепило, формирано върху пробни тела от дървесина, при различна температура на плотовете на преса.
15. В литературните източници не са намерени данни за влиянието на налягането на плотовете на преса, върху адхезионната якост на лепилният шев, получен при горещо слепване с карбамидформалдехидно лепило, върху пробни тела от дървесина.

Цел на дисертационния труд

На основата на изготвеният литературен обзор и произтичащите от него изводи е формулирана и основната цел на дисертационната работа:

Да се проведат сравнителни изследвания на адхезионната якост на защитно-декоративни покрития, формирани върху дървесина и плочи от дървесни влакна със средна плътност, както и на лепилни съединения, изградени върху дървесина, в зависимост от грапавостта на повърхнините, като функция от зърнистостта на абразивния инструмент, вида на филмообразуващите системи и основни технологични фактори при процеса на слепване.

Задачи на дисертационния труд

За осъществяване на поставената цел е необходимо да бъдат решени следните задачи:

1. Да се установи влиянието на зърнистостта на абразивния инструмент при шлифване върху средноаритметичното отклонение на профила на дървесни основи при подготовката на техните повърхнини за филмообразуване.
2. Да се установи влиянието на средноаритметичното отклонение на профила на основата върху адхезионната якост на покрития, изградени върху повърхнини от дървесина и плочи от дървесни влакна със средна плътност.
3. Да се установи влиянието на вида на филмообразуващите системи върху адхезионната якост на защитно–декоративни покрития, изградени върху повърхнини от дървесина и плочи от дървесни влакна със средна плътност.

4. Да се установи влиянието на грапавостта на основата и налягането на плотовете на преса върху адхезионната якост на лепилни съединения, получени при горещо слепване с карбамидформалдехидно лепило, върху пробни тела от масивна дървесина.
5. Да се установи влиянието на грапавостта на основата и температурата на плотовете на преса при слепване на дървесина с поливинилацетатно лепило, върху адхезионната якост на лепилното съединение.

ГЛАВА II: МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

2.1. Избор на материали. Изработване и подготовка на пробни тела – апаратура и условия

2.1.1. Избор на масивна дървесина и дървесни материали

2.1.1.1. Масивна дървесина

За провеждане на изследванията са предпочетени дървесни видове с промишлено значение за България, използвани масово в строителството на сгради, дървени конструкции, мебели и други изделия. Тъй като в тези области е предпочитана в едни случаи дървесина от иглолистни дървесни видове (например в строителството), а в други дървесина от широколистни дървесни видове (например в производството на мебели и изделия за интериора и екстериора, за подови елементи на сгради и др.) е избрана дървесина от двете групи. От групата на иглолистните дървесни видове е предпочетена дървесината от обикновен смърч (*Picea abies* Krast.). От групата на широколистните видове с по-висока плътност са избрани: обикновен бук (*Fagus sylvatica* L.) и летен дъб (*Quercus robur* L.), а от тези с по-ниска плътност - дребнолистна липа (*Tilia cordata* Mill.).

2.1.1.2. Плочи от дървесни влакна със средна плътност (MDF)

За изследванията са използвани пробните тела, изработени от плоча от дървесни влакна със средна плътност от $720 \text{ kg.m}^{-3} \pm 7\%$, производство на фирма „Kronospan” с дебелина 18 mm, поради все по-широкото приложение на материала в производството на мебели и мебелни конструкции.

2.1.2. Избор на материали за формиране на защитно – декоративни покрития и лепилни съединения

2.1.2.1. Материали за формиране на защитно – декоративни покрития

За формиране на защитно-декоративни покрития са избрани следните филмообразуващи състави: безцветен еднокомпонентен полиуретанов водоразредим грунд - „FA580EC”, безцветен двукомпонентен полиуретанов водоразредим лак „AL107

WB” и катализатор с антипожълтяващ ефект за водоразредими полиуретанови лакове – „C107”. Трите продукта са производство на фирма ICA S.p.A – Италия. Като акрилатни филмообразуващи състави са използвани продукти на финладската фирма Tikkurila, а именно прозрачен водоразредим грунд „AU 468” и прозрачен полуматов водоразредим лак „VS 1304”. Представената акрилатна система е нанесена само върху пробните тела от масивна дървесина. Върху образците от MDF е нанесен полуматов акрилатен водоразредим лак „Kiva 30”, тониран по каталог (цвят 3466 Vanilla), който е използван като грунд. Когато лакът е използван като грунд, той е разреден 10%, а когато е използван като лак, не е разреждан (Tikkurila – Финландия). Разликата в избора на акрилатните състави, нанасени върху пробите от масивна дървесина и образците от MDF, произтича от факта, че втората акрилатна система образува полупрозрачен филм, подходящ за формиране на покрития върху дървесно - влакнести плочки повърхнини, предвид текстурата и визията на производственият MDF. Характеристиките на лаковите системи са представени в таблица 2.2.

Таблица 2.2. Техническата характеристика на използваните филмообразуващи състави

Свойства на продукта	Полиуретанов водоразредим грунд FA580EC	Полиуретанов водоразредим лак AL107	Акрилатен водоразредим грунд AU468	Акрилатен водоразредим лак VS1304	Акрилатен водоразредим лак Kiva 30
Външен вид и агрегатно състояние	Безцветна течност	Млечнобяла течност	Кафеникава течност	Млечна светлокафява течност	Млечнобяла течност
Съдържание на сухо вещество, %	43 ± 2	36 ± 2	26	34	32
Количествен разход, g.m ⁻² или l.m ⁻²	100 - 200	80 - 140	100 - 200	100 - 150	0.07 - 0.125
Вискозитет по F.C. (Ford Cup) 4 при 20°C, sec	25	50	35	55	53
Киселинност - pH	8	7.8	6	7	7.6
Начин на нанасяне	мека четка	мека четка	въздушен пневматичен шприц пистолет	въздушен пневматичен шприц пистолет	четка, валяк, въздушен пневматичен шприц пистолет

Всяко пробно тяло, от масивна дървесина и MDF, използвано в изследователската част на дисертационната работа, върху, което ще се формира защитно – декоративно е индексирено като 1 група или 2 група. Всички пробни тела, върху които е изградено покритие с полиуретанова система са обозначени като 1 група, а пробните образци с

формирано покритие с акрилатна система са идентифицирани като 2 група.

За формиране на покрития, при провеждане на експериментите са използвани следните разходни норми на филмообразуващите състави, в съответствие с препоръчаните от производителя:

- полиуретанов водоразредим грунд „FA580EC” - 180 g.m⁻²;
- полиуретанов водоразредим лак „AL107” - 130 g.m⁻²;
- водоразредим акрилатен грунд „AU468” - 130 g.m⁻²;
- водоразредим акрилатен лак „VS1304” - 115 g.m⁻²;
- водоразредим акрилатен лак „Kiva 30”, *разреден 10%* – 0.06 g.m⁻²;
- водоразредим акрилатен лак „Kiva 30” – 0.11 g.m⁻².

2.1.2.2. Материали за формиране на лепилни филми

За слепване на опитните образци са избрани два вида лепила, които са се наложили в еднаква степен в производствената практика, използвани за различни цели – дисперсни и реакционни (химически втвърдяващи се). От групата на дисперсните лепила е използвано поливинилацетатно (PVA) лепило „Jowacoll 124”, производство на фирма Jowat KG, а от групата на реакционните - карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” и втвърдител за горещо слепване „Prefere 5163M”, производство на фирма Dypnea - Финландия. Характеристиките на лепилните състави са представени в таблица 2.3.

Таблица 2.3. Техническата характеристика на използваните лепилни състави

Свойства на продукта	Дисперсно поливинилацетатно лепило Jowacoll 124	Карбамид формалдехидно лепило Prefere 4114	Втвърдител за КФЛ Prefere 5163M
Външен вид	Бежова вискозна течност	Жълто - бяла течност	Сиво - бяла течност
Плътност при 20°C, g.cm ⁻³	1.24	-	-
Плътност при 25°C, g.cm ⁻³	-	1.30	1.15
pH при 20°C	7	-	-
pH при 25°C	-	8 - 8.6	3.4
Клас на устойчивост	D4	-	-
Динамичен вискозитет, измерен чрез Brookfield, RVT, шпиндел 2 при 20 rpm при 20°C, mPa.s	9500	3500 - 5000	-
Динамичен вискозитет, измерен чрез Brookfield, RVT, шпиндел 2 при 20 rpm при 25°C, mPa.s	-	2300 - 4000	500
Съдържание на органични разтворители, %	0.2	≤ 1.5	-
Съдържание на сухо вещество, %	66	60 - 70	-
Количествен разход, g.m ⁻²	80 – 150	100 - 180	

Начин на нанасяне	четка или валик	валик, четка, шпакла или автоматизирани машини за нанасяне	
Открито време, min	5 - 7	15 - 30	
Налягане по време на слепване, N.mm ⁻²	> 0.2	0.3 - 1.6	
Минимално време на пресоване, min	при 50 – 90°C и влажност на дървесната повърхнина 6 – 10% $\approx$ 1	-	
Трайност при температура 15°C - 25°C, месеци	6	-	4
Температура на кипене, °C	100	-	-

Техническите параметри, дадени от производителите за слепване на дървесина или дървесни производни, са препоръчителни, тъй като не са конкретизирани: вида на материала, разходната норма, както и времето на пресуване за постигане на началното втвърдяване на лепилната система.

При провеждане на изследванията в дисертационната работа, за формиране на лепилни съединения с поливинилацетатно и карбамидформалдехидно лепило са използвани следните разходни норми на лепилните смеси, в съответствие с предписаните от производителите:

- поливинилацетатно (PVA) лепило „*Jowacoll 124*” - 130 g.m⁻²;
- карбамидформалдехидно лепило „*PREFERE 4114*” + *втвърдител „Prefere 5163M*”, (при тегловно съотношение 5 : 1) - 150 g.m⁻²;

2.1.3. Изработване и подготовка на пробни тела – апаратура и условия

2.1.3.1. Изработване и подготовка на пробни тела от масивна дървесина

Фасонираните дървени материали са подредени във фигури, които са изсушени естествено под навес до достигане на устойчива влажност 15 - 20%. За провеждане на изследванията са избрани дъски с радиална структура. Преди разкрояване, дъските са оставени в затворено помещение до достигане на равновесна влажност в диапазона от 8 – 12%, след което са разкроени на заготовки без видими недостатъци.

Заготовките, върху които в последствие са формирани покрития, са изработени по 25 броя за всяка серия от всеки дървесен вид с размери, съгласно регламентите на БДС EN ISO 4624:2023, а именно: 300/50/18 $\pm$ 2 mm (първият по дължина на дъвесните влакна). По широчина детайлите са с точни размери. Дължината им, съвпадаща с направлението на дървесните влакна, представлява сбора от дължините на 5 броя пробни тела с включена надмерка от 50 mm (фиг. 2.5.).

Детайлите, които в последствие са изпитани на адхезионна якост при слепване, са изработени съгласно действащите Български и Европейски стандарти БДС EN 205, БДС EN 302-1:2023. За всяка серия са подготвени по 26 броя образци, изработени от дървесина от бук и смърч, с размери 150/20/10 mm (първият по посока на влакната). По дължина и ширина детайлите са изработени с точни размери (фиг. 2.6.).



Фиг. 2.5. Пробни тела от масивна дървесина, върху които са формирани защитно–декоративни филми



Фиг. 2.6. Пробни тела от дървесина, които са изпитани на адхезионна якост при слепване

Всички получени заготовки от дървесина са с надмерка по дебелина, която в процеса на повърхностно обработване е отнета, чрез цилиндрично фрезозване или шлифозване с шкурки с различна зърнистост.

Шлифозването и цилиндричното фрезозване са извършени по двете широки страни на всяка заготовка, в посока, успоредно на дървесните влакна. Шлифозването е осъществено на стационарна хоризонтална лентова шлифовъчна машина, модел „Мшл 241”, а цилиндричното фрезозване на абрихт от петоперационна машина, модел „КР 321”.

Разликата в крайното механично обработване на пробните тела, както и разнообразието от използваните различни зърнистости на шкурките е с цел да се установи влиянието им върху получените готови повърхнини (посредством цифрово изразяване на параметърът на грапавост – Ra), както и отражението, което оказват върху адхезионната якост на защитно – декоративни покрития и лепилните съединения.

При шлифозване на пробните тела от масивна дървесина, са използвани шкурки с номера: P40, P60, P80 и P120. Диапазонът им е съобразен с изследователския характер на настоящата работа, като избора на номерата на шкурките е повлиян главно от недостатъчна или напълно липсваща информация в специализираната литература, относно стойности за параметъра на грапавост Ra .

Пробните тела от масивна дървесина, използвани в изследователската част са разделени в серии, в зависимост от зърнистостта на шкурките и начина им на

обработване, като са обозначени по следния начин:

Дървесен вид (бук, липа, дъб и смърч) – Р 40/60/80/120 (числото след „Р” отразява номера на съответната шкурка, с която са шлифовни пробните тела)

Сериите, които са цилиндрично фрезовани са обозначени по същият начин, но вместо номер на шкурката е поставена абривиатурата „цл. фр.”, което отразява вида на обработването – цилиндрично фрезование.

2.1.3.2. Изработване и подготовка на пробни тела от плочи от дървесни влакна със средна плътност

При разкрояване на плочата от дървесни влакна със средна плътност, на циркуляр с каретка, са изработени общо 200 броя пробни образци (по 25 броя за всяка серия) с размери 50/50/18 mm, съгласно стандарта БДС EN ISO 4624:2023, като от тях 150 броя са подложени на допълнителна повърхностна обработка – шлифование, а останалите 50 броя са оставени с производствена грапавост, използвани като еталон за начална грапавост (фиг. 2.8.).



Фиг. 2.8. Пробни тела от MDF, върху които са формирани защитно–декоративни филми

Шлифването на пробните тела от MDF е извършено в посока на дървесните влакна, на същата шлифовъчна машина, с която са шлифовани и детайлите от масивна дървесина. При провеждане на изследванията са използвани шкурки с номера: Р40, Р60 и Р80.

Пробните тела от плоча от дървесни влакна със средна плътност, използвани в изследователската част са разделени в серии, в зависимост от зърнистостта на шкурките и начина им на обработване, като са обозначени по следния начин:

MDF– Р 40/60/80/120 (числото след „Р” отразява номера на съответната шкурка, с която са шлифовни пробните тела).

Сериите, които са с производствена грапавост са обозначени по същият начин, но вместо номер на шкурката е поставена абривиатурата „произ.”.

След приключване на завършващото механично обработване, всички пробните тела са почистени от финия прах с помощта на въздушна струя под налягане.

Изработването и подготовката на пробните тела от масивна дървесина и MDF до етап на завършващо механично обработване е извършено в производствени условия. Понататъшното им обработване е извършено в лабораторни условия.

2.2. Методи и апаратура за измерване и отчитане на средноаритметично отклонение от профила на грапавост (Ra)

За установяване на стойностите на параметъра – Ra е използван електронен профилометър модел 283 П – 69 - Русия, показан на фигура 2.11., съгласно регламентите на БДС EN ISO 3274:2002.



Фиг. 2.11. Електрически профилометър, модел 283 П – 69

Профилометърът е предназначен за измерване на средноаритметично отклонение от профила на грапавост (Ra). Снабден е със сензор с обратен ход и диамантена игла с V-образен връх на сондата с радиус $r = 10 \mu m$. Измеренията са проведени при следните технически настройки: брой базови дължини $n = 5$; дължина за оценяване $lr = 17.5 mm$; скорост на измерване $0.5 mm.s^{-1}$.

Всички измервания за установяване на параметъра Ra , са направени напречно на дървесните влакна при пробните тела от масивна дървесина и напречно на посоката на шлайфане при образците от MDF плоча, съгласно БДС EN ISO 4287:2006.

2.3. Методи и апаратура за формиране на лакови и лепилни филми и определяне на показателите им

Защитно - декоративните покрития са нанесени върху двете широки страни на пробните тела, за да се избегне деформация. Полиуретановата система е нанесена с мека четка, докато акрилатната филмообразуваща система е формирана с въздушен пневматичен шприцпистолет „Cremlin” с горно разположение на казанчето, показан на (фиг. 2.12.).

При работата с въздушен пневматичен шприцпистолет „Cremlin” за формиране на акрилатните лакови филми е използвано налягане от 2 bar и размер на дюзата 1.4 mm, като разстоянието между дюзата на пистолета и повърхнината на дървесината, при нанасяне на грунда и лака е около 200 mm.



Фиг. 2.12. Пневматичен шприц пистолет за нанасяне на защитно – декоративен филм

Начините на нанасяне, както и технологията на обработване са избрани съобразно препоръките на производителите на лакови системи и включва следните фази:

- Нанасяне на първи слой от съответната лакова система - грундиране;
- Междинно шлифване на пробните тела с шкурка Р 320;
- Нанасяне на втори слой от съответната лакова система – лакиране – първи слой;
- Междинно шлифване на пробните тела с шкурка Р 400;
- Нанасяне на трети слой от съответната лакова система – лакиране – втори слой.

Количеството на нанесените течни състави е отчетено по тегловния метод с помощта на електронна везна с точност 0.001 g, като за целта пробните тела са претеглени преди и след нанасяне на течният състав. Разходът е изчислен по следното уравнение:

$$Mf = \frac{m_2 - m_1}{S}, g \cdot m^{-2} \quad (2.1)$$

където: M_f е разход на филмообразувачият състав, $g \cdot m^{-2}$; m_1 – начална маса на пробата без покритие, g; m_2 – масата на пробата с нанесен филмообразуващ състав, g; S – площ на пробното тяло, m^2 .

След окончателното формиране на покритието, пробните тела са претеглени и е определена сухата маса на покритието.

$$Mdc = \frac{m_3 - m_1}{S}, g \cdot m^{-2} \quad (2.2)$$

където: M_{dc} е сухата маса на покритието, $g \cdot m^{-2}$; m_3 – крайна маса на пробата с покритието в сухо състояние, g; m_1 – началната маса на пробата без покритие, g; S – площ на пробата, m^2 ;

Преди формиране на лепилен филм, върху детайлите от масивна дървесина, е отчетено влагосъдържанието на готовите пробни тела, съгласно БДС EN 13183-1:2003. За целта пробните тела са поставени в сушилен шкаф за две денонощия при постоянна температура $102 \pm 3^\circ C$. На всеки два часа е измервана масата им. След установяване на

разлика, по-малка от 0.01g между две поредни измервания, пробите са извадени от сушилният шкаф, претеглени са и са поставени в ексикатор за още 24 h за окончателно кондициониране. Определянето на влагосъдържанието е извършено по уравнението:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

където: m_1 е масата на пробата преди сушене, g; m_0 - маса на пробата след сушене, g.

Лепилата са нанасени върху широката страна на всяка една проба от двойката образци, с помощта на мека четка. След, което пробните тела са съединени пластово.

За осъществяване на процеса на слепване, между отделните двойки детайли, при употребата на карбамидформалдехидно лепило и за ускоряване процеса на слепване при PVA дисперсията, е извършено пресоване на пробните тела в лабораторна хидравлична едноцилиндрова преса с възможност за нагряване и на двата плота до 250°C (фиг.2.13.).



Фиг. 2.13. Лабораторна хидравлична едноцилиндрова преса

При провеждане на експерименталните изследвания са използвани следните режими за формиране на лепилни съединения:

- При дисперсно лепило „*Jowacoll 124*“ :
 - температура при слепване 20°C и 90°C, съответно най- ниската температура (за този вид лепило), при която се ускорява процеса на втвърдяване и възможно най-високата температура преди да започне да кипи.
 - налягане при слепване 0.4 N.mm⁻²;
 - време на пресуване 45 min.
- При карбамидформалдехидно лепило „*PREFERE 4114*“ + втвърдител „*Prefere 5163M*“, (при тегловно съотношение 5 : 1):
 - температура при слепване 120°C;
 - налягане при слепване 0.8 N.mm⁻² и 1.6 N.mm⁻². В конкретният случай е избрано да се работи със средно специфично налягане от 0.8 N.mm⁻² и максимално, дадено от производителя – 1.6 N.mm⁻². Тези различия в избора на работно налягане са породени от различната структура и химичен състав на използваните за слепване дървесни видове.

- време на пресуване 10 min.

След втвърдяване на лепилният филм, двойките образци са извадени от пресата и са кондиционирани за седем денонощия. За това време пробните тела са достигнали равновесие, т.е. не са отчетени промени в теглото им. Двете широки страни на пробните тела са прорязани симетрично, спрямо центъра на препокриване (фиг. 2.14.), което определя изпитваната повърхнина да е с дължина от 10 mm, съгласно БДС EN 205:2016 и БДС EN 302-1:2023. Прорязването е извършено на мини банциг, като е следено, дълбочината на прореза да обхване дебелината на едното от слепваните тела плюс дебелината на лепилният шев, без/(или ограничено) да прониква във второто тяло.



а)



б)



в)

Фиг. 2.14. Пробни тела за изпитване на адхезионна якост при лепилни съединения

а) от дървесина на смърч; б) и в) от дървесина на бук

2.4. Методи и апаратура за определяне на адхезионната якост

В изследванията, за определяне на адхезионната якост на защитно-декоративните покрития е използван методът за изпитване на пробните тела на опън, съгласно БДС EN ISO 4624:2023 (ISO 4624:2023).

След кондициониране на пробните тела, върху лаковото покритието е залепено цилиндрично стоманено тяло (щемпел) с цианакрилатно лепило. Със свредел с куха сърцевина е прорязана цялата дебелина на покритието около металният щемпел, докато е достигната дървесната основа. След като пробните тела със залепените към тях щемпели са престояли 24 h са подложени на изпитване. За целта са използвани две универсални изпитвателни машини "Heckert - FP 10/1" – Германия (фиг. 2.17. а)) и P5 - УХЛ - 4.2 - Русия (фиг. 2.17. б)). Универсална изпитвателна машина HECKERT FP 10/1 е с обхват на изпитване до 1000 kg, докато универсалната изпитвателна машина P5 - УХЛ - 4.2 има възможност за натоварване до 50000 N $\approx$ 5000kg.

На всички пробни тела от масивна дървесина, с формирани ЗДП и лепилни филми, адхезионната якост е изпитана и отчетена на универсалната изпитвателна машина P5 - УХЛ - 4.2, докато пробните тела от MDF с формираните повърхностни покрития са изпитани на немската изпитвателна машина HECKERT FP 10/



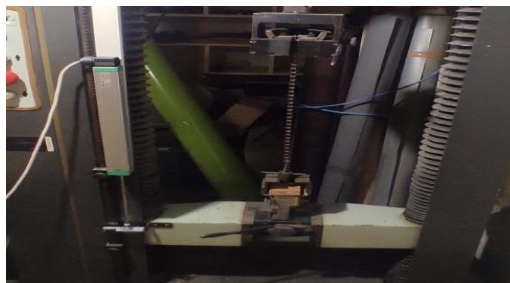
a)



b)

Фиг. 2.17. а) Универсална изпитвателна машина "Heckert - FP 10/1" – Германия и б) универсалната изпитвателна машина P5 - УХЛ - 4.2

Изпитването е осъществено, като залепеният щемпел към пробното тяло е захванат посредством метален щифт към неподвижна верига, разположена над образеца. Металният щифт е прокаран през веригата и отворите на щемпела (фиг. 2.18.). Към долната подвижна част на машината е прикрепена стоманена U - образна скоба, в която е поставено пробното тяло. Скоростта, с която е извършено изтръгването е 20 mm.min^{-1} . Прилаганото натоварване е извършвано плавно и постепенно, до отлепване на стоманеното цилиндрично тяло от повърхнината на пробното тяло.



Фиг. 2.18. Опитна постановка на изпитване на адхезионна якост при повърхностни покрития, формирани върху пробни тела от MDF

Адхезионната якост е изчислена по уравнението:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \text{ N.mm}^{-2} \quad (2.4)$$

където: F е разрушаващата сила, N; S – контактна площ на щемпела, mm^2 .

Изчислената средноаритметичната величина е с точност 0.01 N.mm^{-2} , като са взети само данните от пробните образци, при които разрушаването е повече от 50% между покритието и основата.

Адхезионната якост на слепване е изпитана, съгласно БДС EN 205:2016 и БДС EN

302-1:2023, на същата универсална машина (P5 - УХЛ - 4.2 – Русия), на която е изпитана и адхезионната якост при повърхностните покрития, формирани върху пробните тела от масивна дървесина, като за целта е използвана друга изпитвателна глава с „челюсти“. Изпитванията са направени, като пробните тела са закрепени в челюстите на машината, като разстоянието между двете челюсти постепенно се е увеличавало до степен, до която е настъпило разрушаване на образца.

В експерименталната част от дисертационната работа, при провеждане на експериментите за определяне на адхезионната якост при слепване, характерът на разрушаване е обозначен със следните инициали: „Д“ – кохезионно разрушаване в дървесната основа (субстрата); „Д/Л“ - адхезионно разрушаване, по линията лепило - дървесина и „Л“ – кохезионно разрушаване в лепилния слой.

2.5. Математическо (вариационно-статистическо) обработване на данни. Метод на най- малките квадрати

За проверка на достоверността на получените стойности, относно повърхностната грапавост и адхезионната якост на повърхностни и лепилни филми, резултатите са обработени вариационно - статистически по метода на най-малките квадрати (Стоянов,1986). За целта са определени следните величини:

- *средноаритметична величина – $\bar{X}$*

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.6)$$

където: $\bar{X}$ е средноаритметичната стойност; $\sum X_i$ – сума от отделните стойности; n - брой измервания (обем на извадката).

- *дисперсия - S_{ε}^2*

$$S_{\varepsilon}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (2.7)$$

Дисперсията е мярка за разпределението на дадена случайна величина, т.е. нейното отклонение от математическото очакване.

- *средно квадратично отклонение (стандартното отклонение) - S_x*

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.8)$$

където: X_i е всяка отделна стойност на променливата в извадката.

Стандартното отклонение е най-точният показател, използван за отчитане на разсейване на резултати. Той описва степента на отклонение на стойностите на променливата величина от средноаритметичната.

- **вариационен коефициент – V**

$$V = \frac{S_x}{\bar{X}} \cdot 100, \% \quad (2.9)$$

Коефициента на вариация (V) показва отклонението на признаци, изразени в различни мерни единици, а в случай че са в една и съща мерна единица – относно различно средно равнище. Използва се за оценяване на еднородността на извадката. При $V = 10 - 12\%$ - извадката е еднородна (разсейването е малко). Когато $V = 10 - 30\%$ - извадката е приблизително еднородна, а при $V > 30\%$ - извадката е силно нееднородна (разсейването е голямо).

- **средна грешка - m_x**

$$m_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (2.10)$$

- **показател на точност – p_x**

$$p_x = \frac{m_x}{\bar{X}} \quad (2.11)$$

Доказването на достоверността на разликите между средните стойности на отделни серия от изпитвания се извършва, чрез изчисляване коефициента на Стюдънт или чрез използване F- критерия на Фишър при еднофакторен дисперсионен анализ.

В тази дисертация е работено с коефициента на Стюдънт, който е изчислен по следната формула:

$$t_{изч.} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{m_{x1}^2 + m_{x2}^2}} \quad (2.12)$$

където: $\bar{X}_1$ - средноаритметичната стойност на първата извадка; $\bar{X}_2$ -средноаритметична стойност на втората извадка; m_{x1}^2 – средна грешка на първата извадка; m_{x2}^2 –средна грешка на втората извадка.

Резултатите са достоверни при $t_{изч.} \geq 3.00$.

ГЛАВА III. РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕДЕНИТЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И АНАЛИЗ

3.1. Определяне влиянието на зърнистостта на абразивният инструмент върху средноаритметичното отклонение Ra на оценявания профил при различните дървесни основи

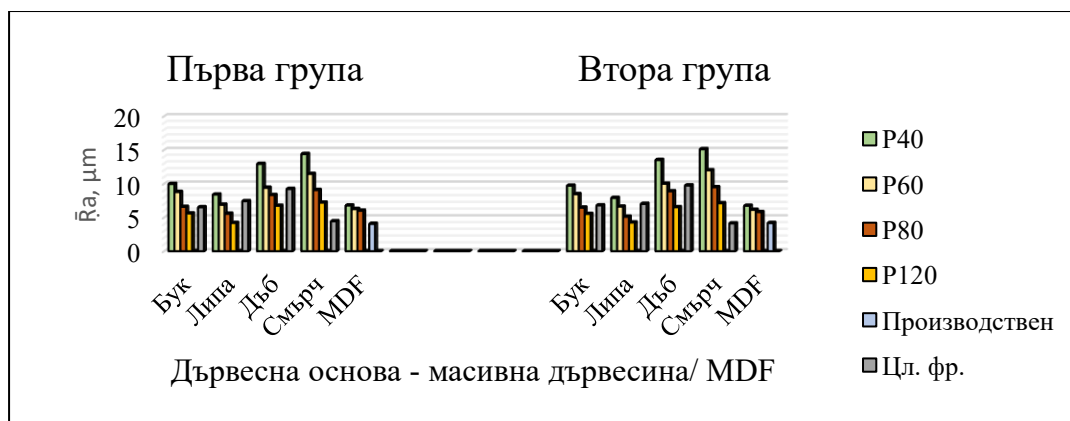
Както е представено в литературния обзор, микрорелефът на дървесните повърхнини се определя от дървесния вид, предходните обработвания и условията на околната среда.

За експерименталната част от дисертационния труд, дървесината и дървесния материал са точно и ясно определени. Предходните обработвания на масивната дървесина включват цилиндрично фрезование и последващо шлифование с шкурки с различна зърнистост, докато плочите от дървесни влакна са само шлифувани с различна зърнистост на абразивни инструменти. Условиата на околната среда са поддържани в определени допустими граници, за да се ограничи влиянието им.

Проведен е еднофакторен експеримент за всяка дървесна основа, при който управляемият фактор е зърнистостта на шкурката (P) с нива на изменение: за масивна дървесина – P40, P60, P80 и P120 и за плочи от дървесни влакна - P40, P60 и P80. Изходният параметър е средноаритметичното отклонение R_a , μm .

При вариационно-статистическото обработване на получените данни при отделните серии за различните дървесни основи, стойностите на вариационният коефициент са под 30%, като изключение правят някои серии от дървесина от дъб, което е доказало, че по-голяма част от извадките са еднородни и получените резултати могат да бъдат анализирани.

На фигура 3.1. е представена сравнителна диаграма на средноаритметичното отклонение на оценявания профил - R_a , на двете групи пробни тела, в зависимост от вида на дървесната основа и зърнистостта на абразивната хартия.



Фиг. 3.1. Сравнителна диаграма на средноаритметичното отклонение на оценявания профил R_a на двете групи пробни тела, в зависимост от вида на дървесната основа и зърнистостта на използваната шкурка

От представените данни, анализи и модели за големината на средноаритметичното отклонение R_a на първоначалната повърхнина, при различни дървесни основи и при посочените условия могат да бъдат направени следните заключения:

1. Микрорелефът на дървесната повърхнина оказва значително влияние върху

средноаритметичното отклонение Ra на първоначалната повърхнина.

2. При шлифване на масивна дървесина от: бук, липа, дъб, смърч и плочи от дървесни влакна със средна плътност, зърнистостта на шкурките оказва влияние върху средноаритметичното отклонение на оценявания профил. С намаляване на зърнистостта, грапавостта на повърхнините намалява.
3. При шлифване на дървесина и плоча от дървесни влакна е установена зависимостта между зърнистостта на абразивния инструмент и грапавостта на повърхнината. Стойностите на средноаритметичното отклонение Ra на профила са показали различно поведение в зависимост от дървесната основа и използваната зърнистост на шкурката. За бук не е наблюдавано увеличение на отклонението Ra при шкурка P80. За дървесината от липа и смърч не е наблюдавано увеличение на Ra при шкурка с зърнистост P120. За дървесината от дъб не е регистрирано увеличение на Ra при използване на шкурки с по-ниска зърнистост (P60 и P80). За плочите от дървесни влакна със средна плътност (MDF) е наблюдавано увеличение на стойностите на отклонението за целия изследван диапазон на зърнистости.
4. Най-ниски стойности на параметъра Ra са измерени за шлифовани повърхнини (P120) на дървесина от липа и необработени плочи от MDF. Най- високи стойности на параметъра са установени за повърхнина на смърч, шлифвана с шкурка P40.
5. При цилиндрично фрезование на дървесина от липа и смърч, стойности на параметъра на грапавост са по- ниски в сравнение с тези получени при шлифване.

3.2. Влияние на грапавостта на изходните повърхнини и вида на филмообразуващата система върху адхезионната якост на покрития, формирани върху основа от различни видове дървесина и MDF

Експерименталните изследвания в тази група обхващат анализ на промените в адхезионната якост на покрития, нанесени върху дървесни основи, включително MDF, вследствие от изменението на грапавостта на повърхнината и вида на използваната лакова система.

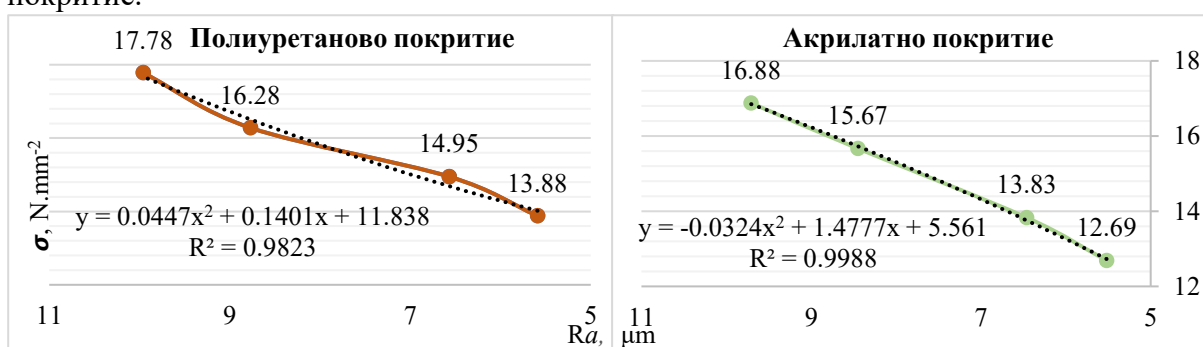
Еднофакторни експерименти са отразили влиянието на управляемият фактор, който е средноаритметично отклонение Ra на първоначалната повърхнина, в зависимост от вида на защитно-декоративния течен филм, а изходният параметър е адхезионната якост на защитно-декоративното покритие ($\sigma, \text{N.mm}^{-2}$).

При вариационно-статистическото обработване на получените данни при отделните серии за различните дървесни основи, стойностите на вариационният коефициент са под 30%, с изключение на една серия от дървесина от смърч, което е

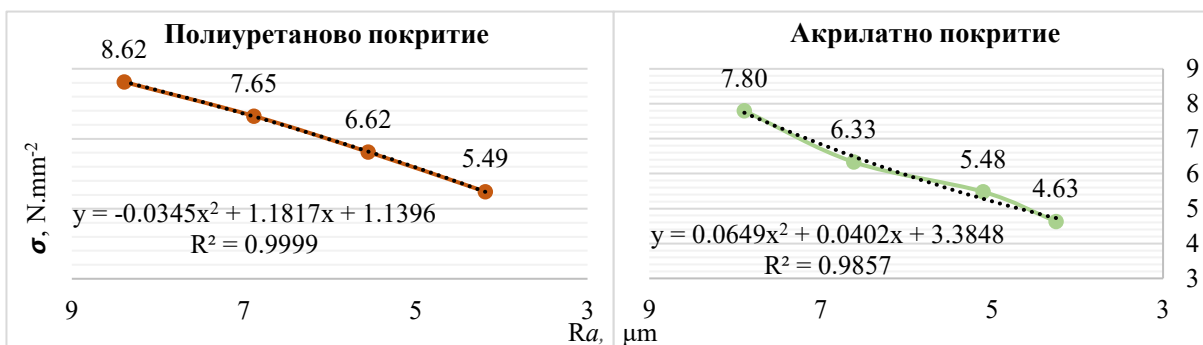
доказало, че значителна част от извадките са еднородни и получените резултати могат да бъдат анализирани.

След обработване на получените резултати за всеки вид дървесна основа и лакова система са изведени съответните регресионни уравнения, от където е установено, че при всички изследвания коефициентите на корелация са единица или клонят към единица, което е доказва, че са значими и моделите са адекватни.

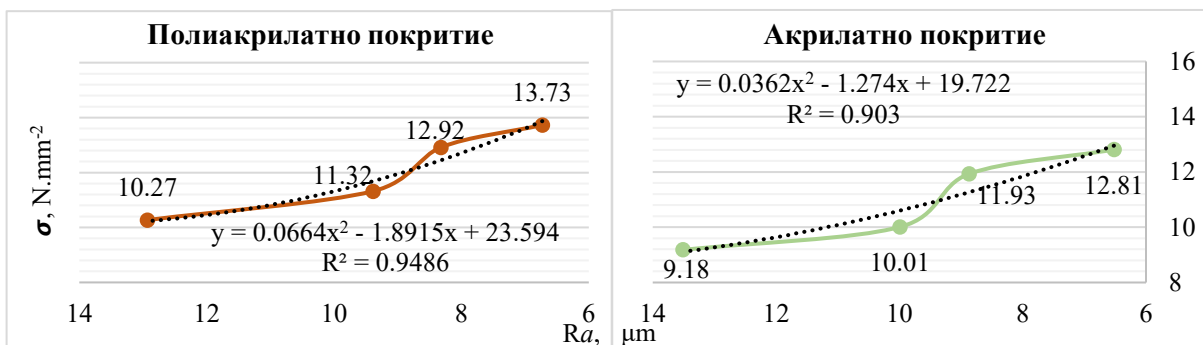
На фигура 3.3, 3.5, 3.7, 3.9 и 3.11 са представени графично и аналитично зависимостите между стойностите на Ra и адхезионната якост на пробни тела от дървесина на бук, липа, дъб, смърч и MDF при двата вида защитно-декоративно покритие.



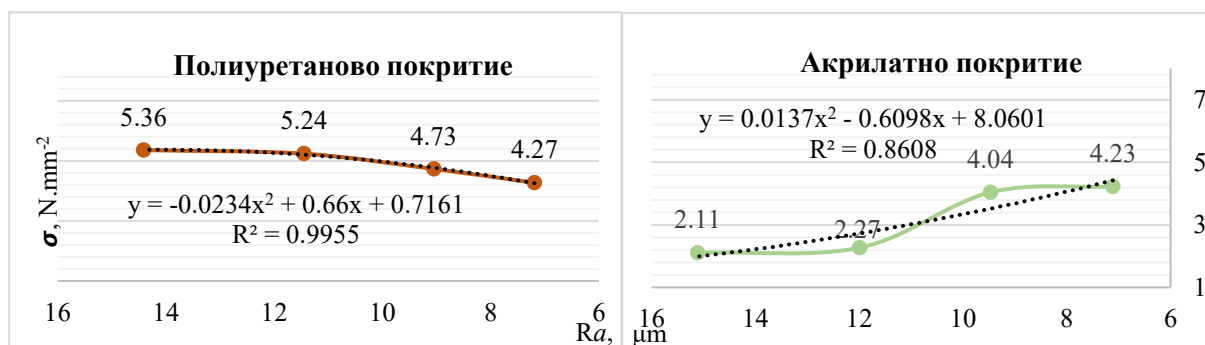
Фиг. 3.3. Изменение на адхезионната якост на буковите пробни тела в зависимост от Ra при полиуретаново и акрилатно декоративно покритие



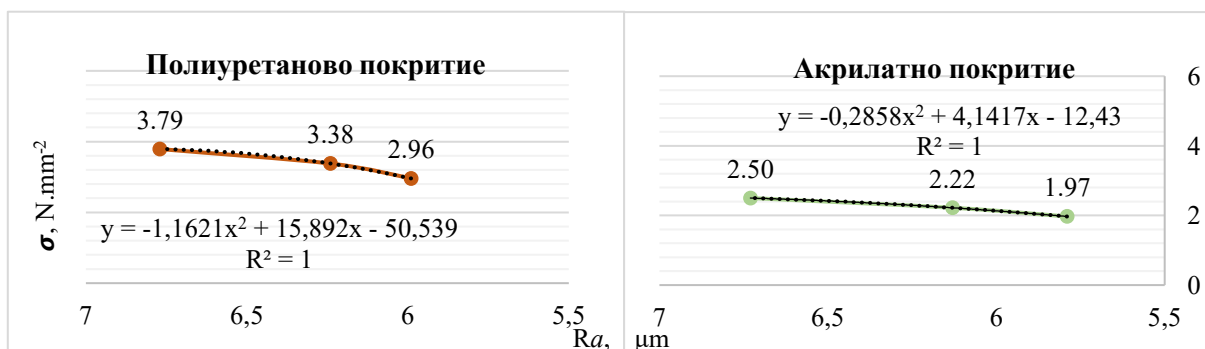
Фиг. 3.5. Изменение на адхезионната якост на пробните тела от дървесина на липа в зависимост от Ra при полиуретаново и акрилатно декоративно покритие



Фиг. 3.7. Изменение на адхезионната якост на пробните тела от дъбова дървесина в зависимост от Ra при полиуретаново и акрилатно декоративно покритие



Фиг. 3.9. Изменение на адхезионната якост на пробните тела от дървесина на смърч в зависимост от Ra при полиуретаново и акрилатно декоративно покритие



Фиг. 3.10. Изменение на адхезионната якост на пробните тела от плочи от дървесни влакна със средна плътност в зависимост от Ra при полиуретаново и акрилатно декоративно покритие

Показаните на фигури 3.3, 3.5, 3.7, 3.9 и 3.10 с цветни линии експериментално установени зависимости на адхезионната якост от параметъра на грапавост Ra се апроксимират с висока точност със следните регресионни квадратични уравнения:

$$\sigma_{\text{БУК}}^{\text{ПУ}} = 0.0447Ra^2 + 0.1401Ra + 11.838 \text{ при } R^2 = 0.9823 \quad (3.1)$$

$$\sigma_{\text{БУК}}^{\text{АВ}} = -0.0324Ra^2 + 1.4777Ra + 5.561 \text{ при } R^2 = 0.9988 \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\text{ЛИПА}}^{\text{ПУ}} = -0.0345Ra^2 + 1.1817Ra + 1.1396 \text{ при } R^2 = 0.9999 \quad (3.3)$$

$$\sigma_{\text{ЛИПА}}^{\text{АВ}} = 0.0649Ra^2 + 0.0402Ra + 3.3848 \text{ при } R^2 = 0.9857 \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\text{ДЪБ}}^{\text{ПУ}} = 0.0664Ra^2 - 1.8915Ra + 23.594 \text{ при } R^2 = 0.9486 \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\text{ДЪБ}}^{\text{АВ}} = 0.0362Ra^2 - 1.274Ra + 19.722 \text{ при } R^2 = 0.903 \quad (3.6)$$

$$\sigma_{\text{СМЪРЧ}}^{\text{ПУ}} = -0.0234Ra^2 + 0.66Ra + 0.7161 \text{ при } R^2 = 0.9955 \quad (3.7)$$

$$\sigma_{\text{СМЪРЧ}}^{\text{АВ}} = 0.0137Ra^2 - 0.6098Ra + 8.0601 \text{ при } R^2 = 0.8608 \quad (3.8)$$

$$\sigma_{\text{МДФ}}^{\text{ПУ}} = -1.1621Ra^2 + 15.892Ra - 50.539 \text{ при } R^2 = 1 \quad (3.9)$$

$$\sigma_{\text{МДФ}}^{\text{АВ}} = -0.2858Ra^2 + 4.1417Ra - 12.43 \text{ при } R^2 = 1 \quad (3.10)$$

От представените графики и резултатите от еднофакторните експерименти и регресионните уравнения могат да бъдат изведени следните заключения:

1. Дървесните видове, характеризиращи се с по-плътна и твърда дървесина (бук и дъб) показват по-високи стойности на адхезионната якост, в сравнение дървесните видове с по-малка плътност (липа и смърч).
2. Грапавостта на повърхнините оказва различно въздействие върху адхезионната якост на ЗДП в зависимост от вида на дървесината. При повишаване на грапавостта на повърхнината, пръснатопорестите дървесни видове (бук и липа) показват подобрена адхезионна якост, докато при представителя от кръговопорестите дървесни видове (дъб) адхезионната якост намалява. При иглолистните дървесни видове (смърч) влиянието не е еднозначно и зависи от конкретните условия на повърхностно обработване и използваното покритие.
3. Адхезионната якост при формиране на покрития върху пробни тела от MDF и дървесина на липа, дъб и смърч, съществено се влияе от химическата природа на филмообразуващите вещества, докато при дървесината от бук този ефект е по-слабо изразен, тъй като букът се характеризира с по-плътна структура.
4. Полиуретановите покрития показват по-висока адхезионна якост в сравнение с акрилатните покрития, защото образуват силни химически връзки с повърхнината чрез изоцианатни групи, докато акрилатните покрития осигуряват по-слабо сцепление, основано основно на физически взаимодействия.
5. Влияние върху адхезионната якост, при формиране на покрития върху основа от масивна дървесина от бук, липа, дъб, смърч и MDF, оказва не само химичната природа на защитно-декоративното покритие, но и химичният състав на дървесната основа.

3.3. Определяне влиянието на грапавостта на повърхнините и налягането на плотовете на пресата върху адхезионната якост при горещо слепване на детайли от масивна дървесина с карбамидформалдехидно лепило

В таблици 3.31. и 3.33. са представени резултати от изследването на адхезионната якост на лепилен филм, формиран върху пробни тела от бук с лепило за горещо слепване „PREFERE 4114”, при температура на плотовете на пресата 120°C и специфично налягане 1.6 N.mm⁻² и 0.8 N.mm⁻².

От данните, представени в таблица 3.31 се вижда, че стойностите на вариацион-

ния коефициент са в рамките на 8.84% до 11.54%, което показва, че извадките са еднородни, разсейването е минимално и резултатите могат да бъдат тълкувани.

Установено е, че изменението на якостта на слепване следва тенденцията на изменение на грапавостта, т.е. с нарастване на параметъра Ra са нараствали и стойностите на адхезионната якост. Това може да е в следствие от увеличената контактна площ, подобрената механична адхезия, повишената повърхностна енергия, както и по-добро поглъщане и проникване на лепилото в микроструктурите на дървесината.

Таблица 3.31. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини Ra , влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” върху пробни тела от бук при специфично налягане 1.6 N.mm^{-2}

Серия	$\bar{Ra}$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационно - статистически показатели					Характер на разрушаване,%		
			$\bar{\sigma}$, N.mm^{-2}	S_{σ} , N.mm^{-2}	V , %	p_x , %	$m_{x\pm}$, N.mm^{-2}	Д	Д/Л	Л
Бук - цл. фр.	7.62	10.50	11.74	1.11	9.45	1.87	0.22	-	8	92
Бук - P40	9.94	10.40	12.31	1.42	11.54	2.27	0.28	-	56	44
Бук - P60	8.30	9.80	11.90	1.25	10.50	2.10	0.25	-	51	49
Бук - P80	6.83	9.40	11.52	1.12	9.72	1.91	0.22	-	34	66
Бук - P120	5.31	10.20	10.86	0.96	8.84	1.75	0.19	-	45	55

Отчетеният по-голям процент разрушения в лепилото за всички серии, независимо от грапавостта на основата, е в резултат на по-високата кохезионна устойчивост на буковата дървесина в сравнение с тази на лепилото.

Чрез еднофакторни експерименти е установено, че при повечето от сериите (70%) е налице недостоварност на получените разлики в якостта на слепване на проби от бук. Незначителните разлики при ясно различима грапавост на повърхнините преди слепване, са индикатор за слабото влияние на грапавостта върху якостта на слепване. Основно влияние върху стойностите на параметъра Ra е оказала структурата на дървесната повърхнина, може да бъде направен извод, че в изследваните граници процесът на обработване, както и зърнистостта на шкурката при шлифоване не са оказали влияние върху стойностите на адхезионната якост.

Вариационният коефициент е в границите от 7.42% до 20%, което свидетелства, че извадките са еднородни, а разсейването на резултатите минимално и дава възможност получените данни да бъдат анализирани. При сравнителен анализ на адхезионната якост

на слепване, на пробни тела от бук при специфично налягане от $0.8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ и $1.6 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ е установено, че с увеличаване на налягането, адхезионната якост също е нараснала. Процентно това съотношение е в границите от 11.51% до 18.43% при различните серии, което доказва, че повишеното налягане е подобрило механичната адхезия.

Установено е, че при намаляване на налягането на слепване е нараснал процента на адхезионно разрушаване. Това може да бъде обяснено с формирането на по-дебел и неравномерен лепилен слой, който е довел до нарушаване на равномерното разпределение на силите в контактната зона, формирайки локализирани слаби зони в областта на слепване и е създал по-големи опънови напрежения при втвърдяване.

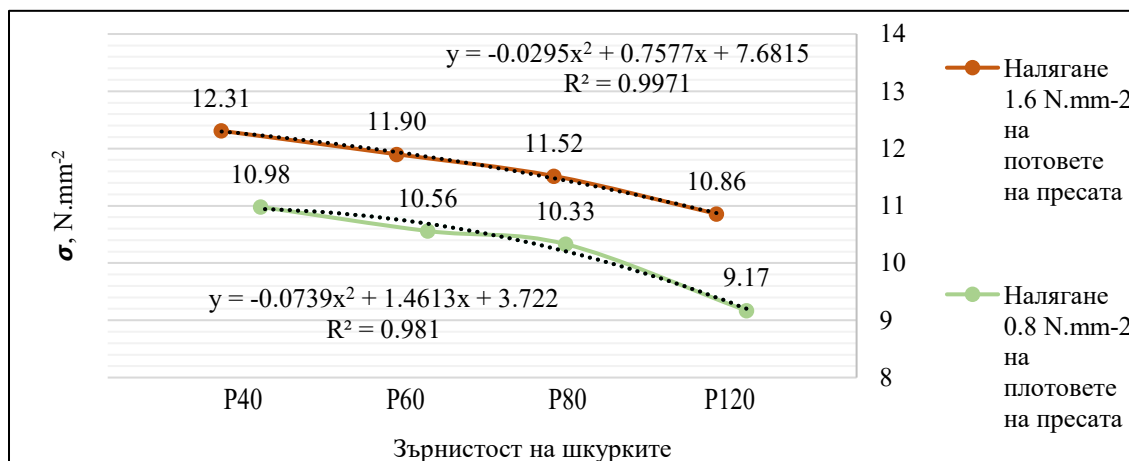
Таблица 3.33. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини R_a влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” върху пробни тела от бук при налягане $0.8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$

Серия	$\bar{R}_a$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационно - статистически показатели					Характер на разрушаване, %		
			$\bar{\sigma}$, $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	S_{σ} , $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	V , %	p_x , %	$m_{x\pm}$, $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	Д	Д/Л	Л
Бук - цл. фр.	7.93	9.90	10.45	2.09	20.00	3.92	0.41	-	76	24
Бук - P40	9.57	9.50	10.98	1.01	9.20	1.82	0.20	-	53	47
Бук - P60	8.01	10.10	10.56	1.13	10.70	2.08	0.22	-	62	38
Бук - P80	6.72	9.60	10.33	2.13	20.62	4.06	0.42	-	37	63
Бук - P120	5.03	8.20	9.17	0.68	7.42	1.42	0.13	-	49	51

С еднофакторни експерименти е установено, че голяма част от получените разлики в якостта на слепване на проби от бук са недостоверни. Получените резултати доказват, че грапавостта на повърхнината е оказала незначително влияние върху адхезионната якост при слепване на пробни тела от бук с карбамидформалдехидно лепило при налягане от $0.8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Това може да бъде обяснено със състава и характеристиките на карбамидформалдехидното лепило. Тези свойства на лепилото са позволили да осигури стабилни и здрави адхезионни връзки, дори при неравни и текстурирани повърхнини от дървесина. Резултатите доказват, че налягането от $0.8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ е било достатъчно за компенсиране на ефектите от вариациите в грапавостта на дървесината и за минимизиране влиянието на състоянието на дървесината и процеса на слепване.

На фигура 3.11. са представени графично зависимостите между зърнистостта на шкурките и адхезионната якост на лепилно съединение, формирано с лепило за горещо

слепване „PREFERE 4114”, при пробни тела от бук, в зависимост от налягането на плотовете на пресата. На същата фигура са представени аналитично и графично уравненията, описващи зависимостите между зърнистостта на шкурките и адхезионната якост при слепване на пробни тела от бук, в зависимост от налягането на плотовете на пресата, от където може да бъде направен извод, че адхезионната якост на лепилните съединения, формирани с лепило за горещо слепване „PREFERE 4114” при пробни тела от бук, съществено е повлияна от налягането на плотовете на пресата.



Фиг. 3.11. Изменение на адхезионната якост на лепилни съединения от букова дървесина, формирани с карбамидформалдехидно лепило PREFERE 4114 в зависимост от зърнистостта на шкурките и от специфичното налягане при слепването при температура на плотовете на пресата 120°C

Показаните на фиг. 3.11. с цветни линии експериментално установени зависимости се апроксимират с висока точност със следните квадратични уравнения:

$$\sigma_{\text{БУК-ГОР.СЛЕП.}}^{P=1.6} = -0.0295P_{\text{шк.}}^2 + 0.7577P_{\text{шк.}} + 7.6815 \text{ при } R^2 = 0.9971 \quad (3.11)$$

$$\sigma_{\text{БУК-ГОР.СЛЕП.}}^{P=0.8} = -0.0739P_{\text{шк.}}^2 + 1.4613P_{\text{шк.}} + 3.722 \text{ при } R^2 = 0.981 \quad (3.12)$$

Уравнението при по-високото специфично налягане 1.6 N.mm⁻² демонстрира по-висока степен на точност и предсказуемост, което го прави предпочитан за приложни цели, изискващи минимизация на грешката при прогнозирането на адхезионната якост.

В таблици 3.35. и 3.37 са представени резултати от изследването на адхезионната якост на лепилен филм, формиран върху пробни тела от смърч с лепило за горещо слепване „PREFERE 4114” при температура на плотовете на пресата 120°C и специфично налягане 1.6 N.mm⁻² и 0.8 N.mm⁻².

Вариационният коефициент е в границите до 12%, което показва, че извадките са еднородни, а разсейването на резултатите минимално и това дава възможност получените данни да бъдат анализирани.

При сравнителен анализ на адхезионната якост на слепване на пробни тела от смърч и тези от бук при налягане на плотовете на пресата от 1.6 N.mm^{-2} е установена разлика от 13.44% - 41.07% в полза на буковата дървесина. Тази значителна разлика може да бъде обяснена с различия в морфологичната структура и физиологичните характеристики на двата дървесни вида. Тези структурни и химични различия са довели до значителни разлики в стойностите на адхезионната якост на слепване при сравняване на двата вида дървесина.

Таблица 3.35. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини Ra влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” върху пробни тела от смърч при налягане 1.6 N.mm^{-2}

Серия	$\bar{Ra}$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационно - статистически показатели					Характер на разрушаване, %		
			$\bar{\sigma}$, N.mm^{-2}	S_{σ} , N.mm^{-2}	V , %	p_{σ} , %	$m_{\sigma \pm}$, N.mm^{-2}	Д	Д/Л	Л
Смърч -цл.фр.	6.38	9.50	8.32	0.51	6.13	1.20	0.10	-	43	57
Смърч - P40	14.93	9.80	10.82	1.27	11.73	2.31	0.25	5	50	45
Смърч - P60	11.12	10.40	10.49	0.96	9.15	1.81	0.19	-	62	38
Смърч - P80	8.95	10.10	10.11	0.48	4.75	0.89	0.09	-	29	71
Смърч -P120	7.28	9.20	9.15	0.57	6.22	1.20	0.11	-	23	77

При налягане от 1.6 N.mm^{-2} е установено, че значителен дял от разрушенията са се проявили като кохезионни в лепилния слой. Това явление може да се обясни с възникналите вътрешни напрежения в адхезива, които са надвишили неговата способност да устои на приложени високи натоварвания. От друга страна, по-ниският процент на адхезионни разрушавания могат да бъдат обяснени с порестата структура на смърча, която е предоставила по-голяма контактна площ и е увеличила възможността за дълбочинно проникване на лепилото в основата.

С проведените еднофакторни експерименти е установено, че при 70% от получените разлики в якостта на слепване на проби от смърч е наблюдавана статистическа достоверност, което е индикатор, че грапавостта на повърхнината е оказала съществено влияние върху адхезионната якост на слепване при смърча.

Вариационният коефициент е със стойности от 11.37% до 23.51%, от където е забелязано, че при някои от изпитваните серии (Смърч - P40) разсейването е значително,

но е в допустимите граници от 30%. Стойностите на вариационния коефициент свидетелстват, че извадките са еднородни и могат да бъдат тълкувани.

При сравняване на адхезионната якост на пробни тела от смърч, получена при налягания на плотовете 0.8 N.mm^{-2} и 1.6 N.mm^{-2} , е установена разлика, като стойностите при по-високото налягане са превишили тези при по-ниското налягане с 9.62% - 19.19%. Това доказва, че повишеното налягане е подобрило механичната адхезия.

При сравнителен анализ на пробни тела от бук и смърч при стойност на налягането 0.8 N.mm^{-2} , е установена адхезионната якост при буквата дървесина по-висока с 10.70% - 49.74% спрямо адхезионната якост на дървесината от смърч. Това може да се обясни с различия в морфологичната структура и физико-химичните характеристики на двата вида дървесина, като по-високата плътност и хомогенността на клетъчната структура при бука, са осигурили по-добра повърхностна свързаност и по-силна адхезия с използваното лепило.

Таблица 3.37. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини Ra влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” върху пробни тела от смърч при налягане 0.8 N.mm^{-2}

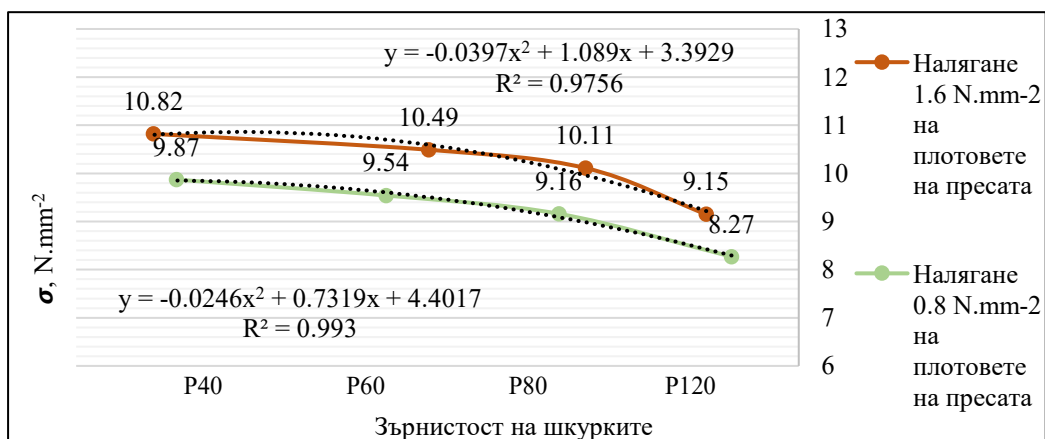
Серия	$\overline{Ra}$, μm	$\overline{W}$, %	Вариационно - статистически показатели					Характер на разрушаване, %		
			$\overline{\sigma}$, N.mm^{-2}	S_{σ} , N.mm^{-2}	V , %	p_x , %	$m_{x\pm}$, N.mm^{-2}	Д	Д/Л	Л
Смърч -цл.фр.	6.62	9.70	6.98	0.89	12.75	2.50	0.17	-	37	63
Смърч - P40	14.61	9.30	9.87	2.32	23.51	4.60	0.45	-	71	29
Смърч - P60	11.71	8.90	9.54	1.10	11.53	2.26	0.22	2	58	40
Смърч - P80	9.32	10.20	9.16	1.21	13.21	2.59	0.24	-	69	31
Смърч -P120	6.93	9.10	8.27	0.94	11.37	2.18	0.18	-	35	65

При прилагане на налягане 0.8 N.mm^{-2} , е установено, че значителен дял от разрушенията се проявяват като адхезионни. Това да се дължи на порестата и хигроскопична структура на смърча. Адхезионни разрушения са наблюдавани, когато смолистите вещества или клетъчните стени на смърча са ограничили проникването на лепилото в дълбочина, което е довело до намалена ефективност на адхезията между лепилото и дървесината.

С проведените еднофакторни експерименти е установено, че 40% от получените

разлики в якостта на слепване на проби от смърч са недостоверни. Забелязано е, че при повърхностно обработване, чрез шлифване с шкурки с по-голяма зърнистост (P40, P60 и P80), получената грапавост на повърхнините не е оказала влияние върху адхезионната якост на лепилното съединение. Това би могло да се дължи на факта, че смърчовата дървесина съдържа по-голямо количество смоли, които биха могли да се разпространяват по повърхнината при шлифване, създавайки бариера за проникването на лепилото. Това доказва, че увеличената грапавост на повърхнината, чрез по-грубо шлифване не е предпоставка за увеличаване на адхезионната якост, тъй като лепилото може да не е успяло да проникне достатъчно дълбоко в клетъчната структура на дървесината. На базата на тези твърдения може да бъде изведен следният извод: След определен праг на шлифване, допълнителното увеличаване на грапавостта не води до подобрене на адхезионната якост, тъй като структурата и състава на дървесината, както и химичният състав на лепилото играят по-важна роля в ефективността на свързването.

На фигура 3.12. са представени графично зависимостите между зърнистостта на шкурките и адхезионната якост на лепилно съединение, формирано с лепило за горещо слепване „PREFERE 4114“, при пробни тела от смърч, в зависимост от налягането на плотовете на пресата. На същата фигура са представени в общ вид уравненията, описващи зависимостите между зърнистостта на шкурките и адхезионната якост при слепване на пробни тела от смърч, в зависимост от налягането на плотовете на пресата, от където може да бъде направен извод, че адхезионната якост на лепилните съединения, формиращи с лепило за горещо слепване „PREFERE 4114“ при пробни тела от смърч, съществено е зависела от налягането на плотовете на пресата.



Фиг. 3.12. Изменение на адхезионната якост на лепилни съединения от дървесина на смърч, формиращи с карбамидформалдехидно лепило PREFERE 4114 в зависимост от зърнистостта на шкурките и от специфичното налягане при слепването при температура на плотовете на пресата 120°C

Показаните на фиг. 3.12. с цветни линии експериментално установени зависимости се апроксимират с висока точност със следните уравнения:

$$\sigma_{\text{СМЪРЧ-ГОР.СЛЕП.}}^{P=1.6} = -0.0397P_{\text{шк.}}^2 + 1.089P_{\text{шк.}} + 3.3929 \text{ при } R^2 = 0.9756 \quad (3.13)$$

$$\sigma_{\text{СМЪРЧ-ГОР.СЛЕП.}}^{P=0.8} = -0.0246P_{\text{шк.}}^2 + 0.7319P_{\text{шк.}} + 4.4017 \text{ при } R^2 = 0.993 \quad (3.14)$$

3.4. Определяне влиянието на грапавостта на пробните тела и температура на плотовете на пресата, върху адхезионната якост при слепване на детайли от масивна дървесина с поливинилацетатно лепило

В таблици 3.39. и 3.41 са представени резултати от изследването на адхезионна якост на лепилен филм, формиран върху пробни тела от бук с лепило „Jowacoll 124”, при налягане 0.4 N.mm^{-2} и температура 20°C и 90°C на плотовете на пресата.

Таблица 3.39. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини R_a , влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” върху пробни тела от бук при температура 20°C

Серия	$\bar{R}_a$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационни показатели					Характер на разрушаване, %		
			$\bar{\sigma}$, N.mm^{-2}	S_{σ} , N.mm^{-2}	V , %	p_x , %	$m_{\sigma\pm}$, N.mm^{-2}	Д	Д/Л	Л
Бук - цл. фр.	7.55	9.30	7.07	0.95	13.44	2.63	0.19	-	62	38
Бук - P40	9.65	8.80	9.63	1.03	10.69	2.10	0.20	-	67	33
Бук - P60	8.32	8.50	8.52	0.92	10.80	2.12	0.18	-	58	42
Бук - P80	6.47	9.70	6.22	0.83	13.34	2.62	0.16	-	70	30
Бук – P120	5.56	9.30	5.12	0.78	15.23	2.93	0.15	-	75	25

От представените данни в таблица 3.39. е установено, че вариационният коефициент е в границите от 10.69% до 15.23%, което показва, че избраните извадки са еднородни, а разсейването е минимално и резултатите могат да бъдат тълкувани.

Влажността на буковите пробни тела е била в диапазона 8–10%, което съвпада с оптималния интервал за взаимодействие между дървесината и водоразредимото ПВА лепило. Този диапазон е осигурил добра проникваща способност на лепилото, стабилност на дървесината и оптимални условия за втвърдяването му. Въпреки че влажността е в допустимия интервал, при по-ниска влажност е наблюдавана по-висока адхезионна якост.

Резултатите, изложени в таблица 3.39. показват, че съществува

правопропорционална зависимост между грапавостта на повърхнината и адхезионната якост при слепване. При всички серии пробни тела от бук, съединени, чрез слепване с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124”, при температура на плотовете на преса 20°C е установено, че разрушаванията са в областта на съединението между дървесината и лепилото, т.е. адхезионно.

Проведени са еднофакторни експерименти за установяване на достоверността на адхезионната якост при слепване на пробни тела от бук. Резултатите показват, че във всички серии е наблюдавана статистически значима разлика. Получените достоверни разлики доказват, че грапавостта на повърхнината е оказала съществено влияние върху адхезионната якост при слепване на пробни тела от бук с поливинилацетатно лепило.

Таблица 3.41. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини R_a , влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” върху пробни тела от бук при температура 90°C

Серия	$\bar{R}_a$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационни показатели					Характер на разрушаване, %		
			$\bar{\sigma}$, $N.mm^{-2}$	$S_{\bar{\sigma}}$, $N.mm^{-2}$	V , %	$p_{\bar{\sigma}}$, %	$m_{\bar{\sigma}} \pm$, $N.mm^{-2}$	Д	Д/Л	Л
Бук - цл.фр.	7.32	8.90	8.32	0.93	11.18	2.19	0.18	-	42	58
Бук - P40	9.86	9.80	10.53	1.20	11.40	2.23	0.24	-	28	72
Бук - P60	8.12	9.40	9.45	0.71	7.51	1.48	0.14	-	45	55
Бук - P80	6.85	10.0	7.15	0.92	12.87	2.52	0.18	-	75	25
Бук – P120	5.36	9.70	6.15	0.48	7.80	1.46	0.09	-	60	40

При анализ на данните представени в таблица 3.41 се вижда, че вариационният коефициент е в допустимите граници до 30%, което показва, че извадките са приблизително еднородни и позволяват получените данни да бъдат анализирани.

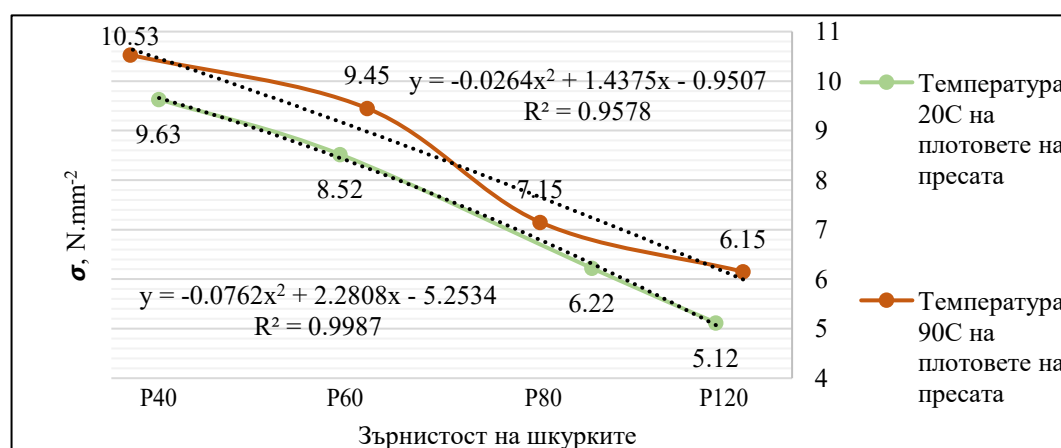
При сравнителния анализ на адхезионната якост на слепване при серии от бук, обработени при температура на плотовете на пресата от 20°C и 90°C, е установено, че при температура от 90°C адхезионната якост е с 9.35% - 20.08% по-висока в сравнение с тази при 20°C. Това може да бъде обяснено с по-добро активиране на адхезива; с подобряване на влажността и термичното обработване на дървесната основа – високата температура е ускорила изпарението на разредителя от лепилото, като в допълнение, термичното обработване би могло да увеличи молекулярната структура на материала,

като го направи по-реактивен при свързване.

При температура от 90°C на плотовете на пресата е установено, че настъпилите разрушения в съединението са приблизително равномерно разпределени между адхезионните и кохезионните в лепилото. Адхезионните разрушавания могат да бъдат обяснени с бързото изпарение на водата от лепилото и на структурни изменения в дървесината, настъпили в процеса на слепване. Кохезионните разрушавания могат да се дължат на по-големите напрежения, възникнали във филма по време на по-бързото му втвърдяване.

Проведени са еднофакторни експерименти за установяване на достоверността на адхезионната якост при слепване на пробни тела от бук. Получените значими разлики дават основание да се твърди, че грапавостта на дървесината от бук, получена вследствие на обработване с шкурки с различна зърнистост или цилиндрично фрезование, са оказали съществено въздействие върху адхезионната якост при слепване, при температура от 90°C. Това може да бъде обяснено с увеличената контактна площ между материалите, повишената термична реактивност на дървесината, подобрените адхезивни свойства на лепилото вследствие на термичното въздействие, както и преразпределянето на влагата в лепилния филм, която е допринесла за оптимизация на адхезията.

На фигура 3.13. са представени графично и аналитично зависимостите между зърнистостта на шкурките и адхезионната якост на лепилните съединения, формирани с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” при пробни тела от бук, в зависимост от температурата на плотовете на пресата.



Фиг. 3.13. Изменение на адхезионната якост на лепилни съединения от букова дървесина, формирани с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” в зависимост от зърнистостта на шкурките и от температурата на плотовете на пресата при специфично налягане $0.4 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$

Показаните на фиг. 3.13. с цветни линии експериментално установени

зависимости се апроксимират с висока точност със следните уравнения:

$$\sigma_{\text{БУК-Jowacoll 124}}^{T=90^{\circ}\text{C}} = -0.0264P_{\text{шк.}}^2 + 1.4375P_{\text{шк.}} - 0.9507 \text{ при } R^2 = 0.9578 \quad (3.15)$$

$$\sigma_{\text{БУК-Jowacoll 124}}^{T=20^{\circ}\text{C}} = -0.0762P_{\text{шк.}}^2 + 2.2808P_{\text{шк.}} - 5.2534 \text{ при } R^2 = 0.9987 \quad (3.16)$$

Изводът, който може да бъде направен на базата на тези уравнения е, че при температура от 90°C е наблюдаван по-голям ефект на квадратичния член, което индикира, че зърнистостта има по-силен ефект върху адхезионната якост в сравнение с температура от 20°C. Стойностите на коефициентите на корелация са високи, което доказва, че уравненията са предоставили точно описание на експерименталните данни и, че зависимостите са добре определени при различни температури.

В таблици 3.43. и 3.45. са представени резултати от изследването на адхезионната якост на лепилни филми, формирани върху пробни тела от смърч с лепило „Jowacoll 124” при налягане 0.4 N.mm⁻² и температура 20°C и 90°C на плотовете на пресата.

Таблица 3.43. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини R_a , влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” върху пробни тела от смърч при температура 20°C

Серия	$\bar{R}_a$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационни показатели					Характер на разрушаване,%		
			$\bar{\sigma}$, N.mm ⁻²	S_{σ} , N.mm ⁻²	V , %	p_{σ} , %	$m_{\sigma} \pm$, N.mm ⁻²	Д	Д/Л	Л
Смърч -цл.фр.	7.16	8.70	4.03	0.58	14.39	2.82	0.11	-	67	33
Смърч - Р40	14.83	9.60	7.41	2.03	27.40	5.37	0.40	-	55	45
Смърч - Р60	11.44	10.20	6.38	1.11	17.40	3.45	0.22	-	82	12
Смърч - Р80	8.96	8.90	5.27	0.94	17.84	3.50	0.18	-	38	62
Смърч - Р120	7.35	9.20	4.17	0.86	20.62	4.04	0.17	-	29	71

Вариационният коефициент е в широки граници, при различните серии, но е в допустимите от 30%, което показва, че извадките са еднородни, а разсейването на резултатите е минимално и това дава възможност те да бъдат анализирани.

При сравняване на адхезионната якост на буквата и смърчовата дървесина при равни технологични фактори и при 20°C температура на плотовете на пресата, е установена разлика от около 15.28% - 42.97% в полза на дървесината от бук. Тази

значима разлика може да бъде обяснена с различия в морфологичната структура и физиологичните характеристики на двата дървесни вида. По-конкретно, плътността на дървесината, както и химичният състав, включително съдържанието на екстракти и смоли, са оказали влияние върху механизма на адхезията.

При температура 20°C на плотовете на пресата е наблюдавано, че значителен дял от разрушенията са се проявили като адхезионни. Това явление може да бъде обяснено с разликите в химичните и физичните свойства на слепваните материали, които биха могли да повлияят на ефективността на адхезионните взаимодействия.

С еднофакторни експерименти е установено, че при голяма част от изпитваните серии статистически значима е разликата в получените стойности, което индикира, че грапавостта на дървесната основа е оказала значително влияние върху адхезионната якост. Това показва, че текстурата на повърхнината е ключов фактор, който е оказал влияние на взаимодействието между основата и адхезивния материал, и би могла да бъде разглеждана като критичен параметър за ефективността на процеса на слепване.

Таблица 3.45. Средноаритметични стойности на отклонението на профилите на слепваните повърхнини $\bar{R}_a$, влажността на дървесината преди слепване W и адхезионната якост σ на лепилни филми, формирани с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” върху пробни тела от смърч при температура 90°C

Серия	$\bar{R}_a$, μm	$\bar{W}$, %	Вариационни показатели					Характер на разрушаване, %		
			$\bar{\sigma}$, $N.mm^{-2}$	S_{σ} , $N.mm^{-2}$	V , %	p_{σ} , %	$m_{\sigma}^{\pm}$, $N.mm^{-2}$	Д	Д/Л	Л
Смърч - цл. фр.	7.02	9.40	4.96	0.44	8.87	1.81	0.09	-	67	33
Смърч - P40	14.47	10.00	8.28	0.83	10.02	1.93	0.16	-	55	45
Смърч - P60	11.68	9.30	7.44	0.96	12.90	2.55	0.19	-	82	12
Смърч - P80	9.12	9.60	6.03	0.51	8.46	1.66	0.10	-	75	25
Смърч - P120	7.88	8.90	5.24	0.62	11.83	2.29	0.12	-	29	71

Вариационно - статистическите показатели на адхезионната якост при дървесината от смърч са в допустимите граници. Вариационният коефициент показва, че разсейването на резултатите е минимално. Това потвърждава, че получените стойности могат да бъдат анализирани с цел по-добро разбиране на поведението на материала и оптимизиране на процеса на слепване.

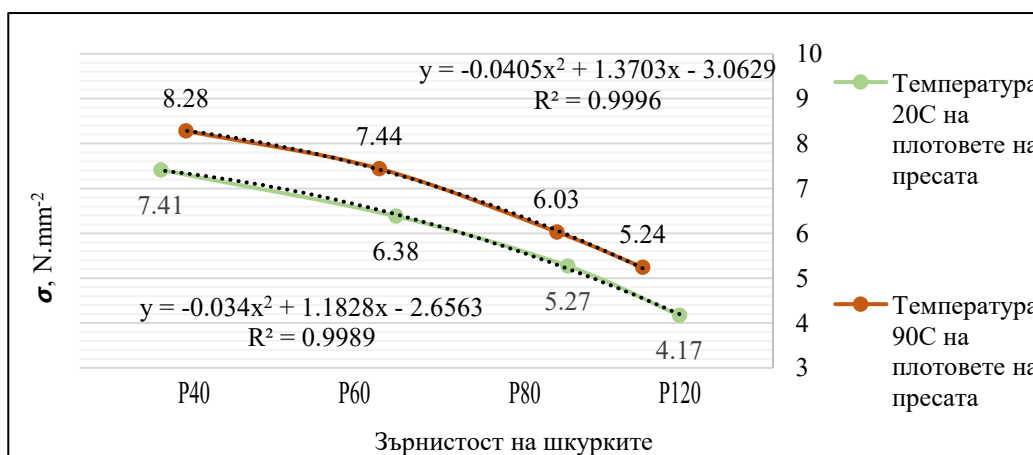
При сравнителния анализ на адхезионната якост на слепените серии от смърч,

обработени при температура на плотовете на пресата от 20°C и 90°C, е установено, че при температура от 90°C на плотовете, адхезионната якост е с 11.74 – 25.67% по-висока в сравнение с тази при 20°C. Това може да бъде обяснено с по-добро активиране на адхезива, подобряване на влажността и термичното обработване на дървесната основа.

При сравняване на буковата и смърчовата дървесина при равни технологични фактори и при 90°C температура на плотовете на пресата, е установена разлика от около 17.36% - 67.74% в полза на дървесината от бук. Тази значима разлика може да бъде обяснена с различия в морфологичната структура и физиологичните характеристики на двата дървесни вида. При температура 90°C на плотовете на пресата е наблюдавано, че по-голям дял от разрушенията са се проявили като адхезионни и по-малка част като кохезионни в лепилото. Това може да се обясни с факта, че при високи температури, е отслабнала кристалната решетка на целулозните фибри и се е ускорило движението на молекулите, което е довело до намаляване на неговата адхезионна способност и е затруднило формирането на силни взаимодействия с дървесната повърхнина.

С еднофакторни експерименти е установено, че при 90% от получените разлики е установена достоверност, което е индикация, че повърхностната грапавост е оказала значимо влияние върху адхезионната якост при слепване на смърч.

На фигура 3.14. са представени графично зависимостите между зърнистостта на шкурките и адхезионната якост на лепилно съединение, формирано с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” при пробни тела от смърч, в зависимост от температурата на плотовете на пресата.



Фиг. 3.14. Изменение на адхезионната якост на лепилни съединения от смърчова дървесина, формиран с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” в зависимост от зърнистостта на шкурките и от температурата на плотовете на пресата при специфично налягане 0.4 N.mm⁻²

Представените на фиг. 3.14 с цветни линии експериментално установени зависимости се апроксимират с висока точност със следните уравнения:

$$\sigma_{\text{СМЪРЧ-Jowacoll 124}}^{T=90^{\circ}\text{C}} = -0.0405P_{\text{шк.}}^2 + 1.3703P_{\text{шк.}} - 3.0629 \text{ при } R^2 = 0.9996 \quad (3.17)$$

$$\sigma_{\text{СМЪРЧ-Jowacoll 124}}^{T=20^{\circ}\text{C}} = -0.034P_{\text{шк.}}^2 + 1.1828P_{\text{шк.}} - 2.6563 \text{ при } R^2 = 0.9989 \quad (3.18)$$

Заклучението, което може да бъде направо въз основа на анализа е, че както температурата, така и зърнистостта са оказали съществено влияние в определянето на адхезионната якост.

При температура 90°C е наблюдаван оптимален диапазон на зърнистостта, в който адхезията е нараствала след първоначалното намаляване. При температура 20°C адхезионната якост също има оптимален пик, след който е намаляла. Тези резултати са подчертали необходимостта от внимателен контрол на зърнистостта и температурата, за да бъдат постигнати най-добри условия за лепене.

3.5. Изводи от проведените експериментални изследвания

Резултатите от проведените експериментални изследвания върху адхезионната якост при защитно–декоративни и лепилни филми позволяват да се направят следните по–важни изводи и заключения:

1. Увеличаването на зърнистостта на използваната шкурка, предизвиква нарастване на грапавостта на шлифованите с нея повърхнини на масивна дървесина и на плочи от дървесни влакна със средна плътност (MDF), като грапавостта количествено се изразява чрез средноаритметичното отклонение Ra на профила на тези повърхнини.
2. Намаляването на зърнистостта на шкурката от P40 до P120 предизвиква следното понижаване на отклонението Ra на профила на шлифовани повърхнини, които са подготвени за нанасяне върху тях на филми от полиуретанови покрития (ПУ) и акрилатни покрития (АВ):
 - от 9.96 на 5.59 μm при ПУ и от 9.71 на 5.52 μm при АВ за буквата дървесина;
 - от 8.39 на 4.19 μm при ПУ и от 7.89 на 4.25 μm при АВ за дървесината от липа;
 - от 12.93 на 6.73 μm при ПУ и от 13.51 на 6.52 μm при АВ за дъбовата дървесина;
 - от 14.41 на 7.19 μm при ПУ и от 15.11 на 7.11 μm при АВ за дървесина от смърч;
 - от 6.77 на 5.99 μm при ПУ и от 6.73 на 5,79 μm при АВ за повърхнини на MDF.
3. Намаляването на отклонението Ra на профила на повърхнини от бук, липа и MDF в посочените в т.2 диапазони, предизвиква следното понижаване на адхезионната якост σ на защитно-декоративните им филми както при ПУ, така и при АВ:
 - при ПУ: от 17.78 на 13.88 N.mm^{-2} за бука, от 8.62 на 5.49 N.mm^{-2} за липата и от 3.79 на 2.96 N.mm^{-2} за MDF;

- при АВ: от 16.88 на 12.69 N.mm⁻² за бука, от 7.80 на 4.63 N.mm⁻² за липата и от 2.50 на 1.97 N.mm⁻² за MDF.

4. Намаляването на отклонението R_a на профила на повърхнини от дъбова дървесина в посочения за нея в т.2 диапазон, предизвиква следното повишаване на адхезионната якост σ както на ПУ, така и на АВ филми:

- от 10.27 на 13.73 N.mm⁻² при ПУ;
- от 9.18 на 12.81 N.mm⁻² при АВ.

5. Намаляването на отклонението R_a на профила на повърхнини от дървесина на смърч в посочения за нея в т.2 диапазон, предизвиква следното изменение на адхезионната якост σ на ПУ и АВ филмите:

- намаляване от 5.36 на 4.27 N.mm⁻² при ПУ;
- повишаване от 2.11 на 4.23 N.mm⁻² при АВ.

6. Увеличаването на грапавостта на шлифованите повърхнини от масивна дървесина при увеличаване на зърнистостта на използваната шкурка, предизвиква нарастване на адхезионната якост на лепилните филми (съединения) между тях.

7. Намаляването на зърнистостта на шкурката от P40 на P120 обуславя понижаване на адхезионната якост на лепилни филми, между шлифованите повърхнини на букова дървесина, получени с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” при температура на плотовете на пресата 120°C, по следния начин в зависимост от специфичното налягане p при слепване: от 12.32 на 10.86 N.mm⁻² при $p = 1.6$ N.mm⁻² и от 10.98 на 9.17 N.mm⁻² при $p = 0.8$ N.mm⁻².

При налягане 1.6 N.mm⁻² стойностите на адхезионната якост се оказват от 12.2% до 18.4% по-високи в сравнение с тези, получени при налягане 0.8 N.mm⁻².

8. Намаляването на зърнистостта на шкурката от P40 на P120 обуславя понижаване на адхезионната якост на лепилни филми при дървесина от смърч, получени с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” при температура на плотовете на пресата 120°C по следния начин в зависимост от специфичното налягане p при слепване: от 10.82 на 9.15 N.mm⁻² при $p = 1.6$ N.mm⁻² и от 9.87 на 8.27 N.mm⁻² при $p = 0.8$ N.mm⁻².

При специфично налягане 1.6 N.mm⁻² стойностите на адхезионната якост са от 9.6% до 10.6% по-високи в сравнение с тези, получени при налягане от 0.8 N.mm⁻².

9. Намаляването на зърнистостта на шкурката от P40 на P120 обуславя понижаване на адхезионната якост на лепилни филми при букова дървесина, получени с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” при специфично налягане $p = 0.4$ N.mm⁻²,

по следния начин в зависимост от температурата T на плотовете на пресата: от 10.53 на 6.15 N.mm⁻² при $T = 90^{\circ}\text{C}$ и от 9.63 на 5.12 N.mm⁻² при $T = 20^{\circ}\text{C}$.

При температура 20°C стойностите на адхезионната якост се оказват от 9.3% до 20.1% по-ниски в сравнение с тези, получени при температура 90°C.

- 10.** Намаляването на зърнистостта на шкурката от P40 на P120 обуславя понижаване на адхезионната якост на лепилни филми при дървесина на смърч, получени с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” при специфично налягане $p = 0.4 \text{ N.mm}^{-2}$, по следния начин в зависимост от температурата T на плотовете на пресата: от 8.28 на 5.24 N.mm⁻² при $T = 90^{\circ}\text{C}$ и от 7.41 на 4.17 N.mm⁻² при $T = 20^{\circ}\text{C}$

При температура 20°C стойностите на адхезионната якост са от 11.7% до 25.7% по-ниски в сравнение с тези, получени при температура 90°C.

ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

При проведените изследвания за установяване и сравняване на адхезионната якост на защитно–декоративни и лепилни филми към дървесина и дървесни материали са постигнати следните основни приноси в дисертационната работа:

Научно-приложни приноси

- 1.** Чрез обработване на получени резултати от многобройни еднофакторни експерименти са изведени общо 18 регресионни уравнения, отразяващи с висока степен на адекватност влиянието на параметрите на различни защитно-декоративни филми (покрития) и лепилни съединения на масивна дървесина и дървесни материали върху тяхната адхезионната якост.
- 2.** Установено е количественото влияние на зърнистостта на шкурки в диапазона от P40 до P120 върху средноаритметичното отклонение R_a на профила на шлифовани с тях повърхнини от дървесина на бук, липа, дъб и смърч, както и на плочи от дървесни влакна със средна плътност (MDF), шлифовани със зърнистост на шкурките от P40 до P80.
- 3.** Установено е качествено и количественото влияние на средноаритметичното отклонение R_a на профила на шлифовани със шкурки от P40 до P120 повърхнини на дървесина от бук, липа, дъб и смърч, както и на шлифована със шкурки от P40 до P80 повърхнина на MDF върху адхезионната якост на нанесени им полиуретанови и акрилатни лакови филми.
- 4.** Установено е качествено и количественото влияние на зърнистостта на шкурките в

диапазона P40 – P120 върху якостта на лепилни филми, между шлифована дървесина поотделно на бук и смърч, получени с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” при температура на плотовете на пресата $T = 120^{\circ}\text{C}$ и специфично налягане при слепване $p = 1.6 \text{ N.mm}^{-2}$ и $p = 0.8 \text{ N.mm}^{-2}$.

5. Установено е качествено и количественото влияние на зърнитостта на шкурките в диапазона P40 – P120 върху якостта на лепилни филми между шлифована дървесина поотделно на бук и смърч, получени с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” при специфично налягане $p = 0.4 \text{ N.mm}^{-2}$ и температура при слепване $T = 90^{\circ}\text{C}$ и $T = 20^{\circ}\text{C}$.
6. Експериментално са потвърдени в качествено отношение установените и от други изследователи факти за влиянието на посочените в приноси 3, 4 и 5 фактори върху адхезионната якост на защитно-декоративни и лепилни филми на дървесина и дървесни материали, като тяхното влияние е конкретизирано и в количествено отношение спрямо 4 изследвани дървесни вида и MDF.

Приложни приноси

1. Установено е, че намаляването на средноаритметичното отклонение Ra на профила на шлифовани повърхнини от широколистна дървесина на бук и липа, а също и на MDF е предизвикано от намаляването на зърнитостта на използваната шкурка в диапазона P40 – P120 и от P40 до P80 (за MDF), обуславя понижаване на адхезионната якост σ на нанесени върху тях както полиуретанови, така и акрилатни лакови филми. В този диапазон на зърнитост на шкурките, процентното намаляване на якостта σ е следното:
 - за полиуретановите филми: 36.3% при липата, 21.9% при бука и 21.9% при MDF;
 - за акрилатните филми: 40.6% при липата, 23.9% при бука и 21.2% при MDF.
2. Установено е, че намаляването на отклонението Ra на профила на повърхнини от дъбова дървесина при намаляването на зърнитостта на използваната шкурка в диапазона P40 – P120, предизвиква следното повишаване на адхезионната якост σ :
 - 33.7% при полиуретановите филми;
 - 39.5% при акрилатните филми.
3. Установено е, че намаляването на Ra , което е предизвикано от намаляване на зърнитостта на шкурката в диапазона P40 – P120, обуславя понижаване с 20.3% на якостта σ на полиуретанови лакови филми, нанесени върху шлифовани повърхнини от иглолистна дървесина на смърч, но при това предизвиква повишаване със 100.5%

на якостта σ на акрилатни лакови филми.

4. Установено е, че намаляването на зърнистостта на шкурката в диапазона P40 – P120, обуславя понижаване на адхезионната якост на лепилни филми между шлифовани букови и между шлифовани смърчови повърхнини, получени с карбамидформалдехидно лепило „PREFERE 4114” при температура на плотовете на пресата $T = 120^{\circ}\text{C}$ и специфични налягания при слепване $p = 1.6 \text{ N.mm}^{-2}$ и $p = 0.8 \text{ N.mm}^{-2}$ по следния начин в зависимост от p :
- с 11.9% при бука и с 15.4% при смърча, когато $p = 1.6 \text{ N.mm}^{-2}$;
 - с 16.5% при бука и с 16.2% при смърча, когато $p = 0.8 \text{ N.mm}^{-2}$.
5. Установено е, че намаляването на зърнистостта на шкурката в диапазона P40 – P120 обуславя понижаване на адхезионната якост на лепилни филми между шлифовани букови и между шлифовани смърчови повърхнини, получени с поливинилацетатно лепило „Jowacoll 124” при $p = 0.4 \text{ N.mm}^{-2}$ по следния начин в зависимост от температурата T на плотовете на пресата по време на слепване:
- с 38.7% при бука и с 36.7% при смърча, когато $T = 90^{\circ}\text{C}$;
 - с 46.8% при бука и с 43.7% при смърча, когато $T = 20^{\circ}\text{C}$.

СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Панайотов, П., Ж. Гочев, Г. Съркова (2009). Изследване влиянието на някои фактори върху адхезията на защитно - декоративни покрития към масивна дървесина, сп. Дървообработване и производство на мебели, 1/2009, с.13-20.

2. Съркова, Г. (2009). Анализ на методите за изпитване на адхезията на защитно-декоративни покрития, сборник научни доклади от втора научно – техническа конференция „Иновации в горската промишленост и инженерния дизайн”, 2009, с. 257-260.

3. Панайотов, П., Г.Съркова, Ж. Гочев (2010). Изследване влиянието на грапавостта на дървесина върху гланца на защитно- декоративни покрития, сборник научни доклади от трета научно – техническа конференция „Иновации в горската промишленост и инженерния дизайн”, с. 211-218.

COMPARATIVE STUDIES OF THE ADHESION OF ADHESIVE AND PROTECTIVE-DECORATIVE FILMS TO WOOD AND WOOD-BASED MATERIALS

Galina Kutova

University of Forestry, Sofia, Bulgaria

ABSTRACT OF THE PhD THESIS

The objective of the PhD thesis is to conduct comparative studies of the adhesion strength of protective and decorative coatings applied on wood and medium-density fiberboard, as well as of adhesive compounds formed on wood. As a result of the conducted research, the following factors influencing the adhesion strength were established:

1. the grain size of the abrasive tool and its effect on the arithmetic mean deviation of the profile of wooden surfaces when preparing them for film formation;
2. the influence of the arithmetic mean deviation of the base profile on the adhesion strength of the coatings;
3. the type of film-forming systems influencing the adhesion strength of protective and decorative coatings;
4. the roughness of the base and the specific pressure during bonding, influencing the adhesion strength of adhesive compounds obtained by hot bonding with urea-formaldehyde glue;
5. the roughness of the base and the temperature of the press plates when bonding wood with polyvinyl acetate glue, which influence the adhesion strength of the adhesive compound.

Through the conducted single-factor experiments, the reliability and influence of these dependencies on the quality of coatings and adhesive compounds have been established. The results of the research, as well as the applied regression models, provide an opportunity for rational application of the studied varnish systems and adhesive films in practice. This provides a basis for further optimization of the processes related to the preparation of surfaces and the construction of coatings and adhesive compounds, which is important for improving the quality and durability of the products.