

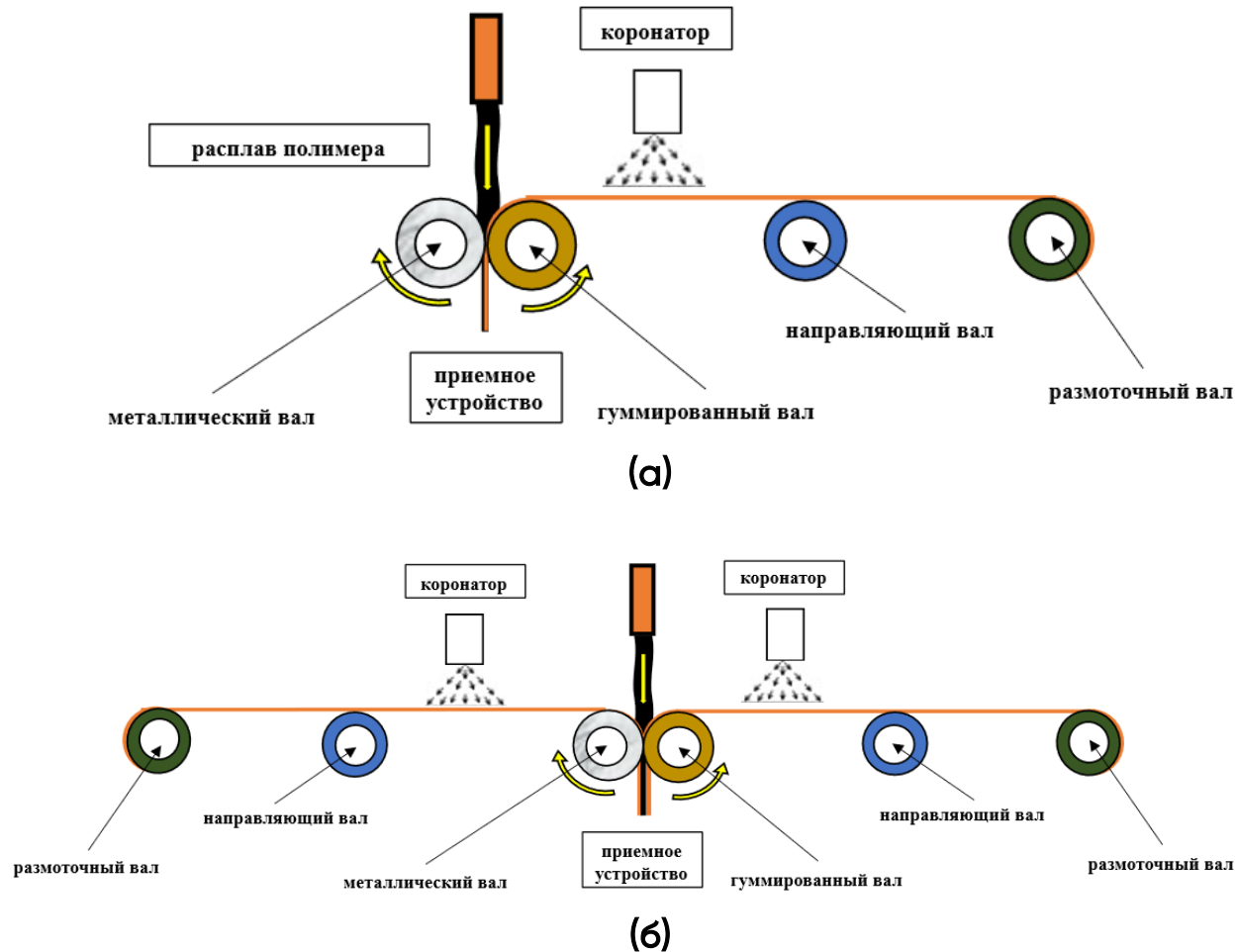


Повышение адгезионной прочности многослойных пленок в технологии экструзионного ламинирования

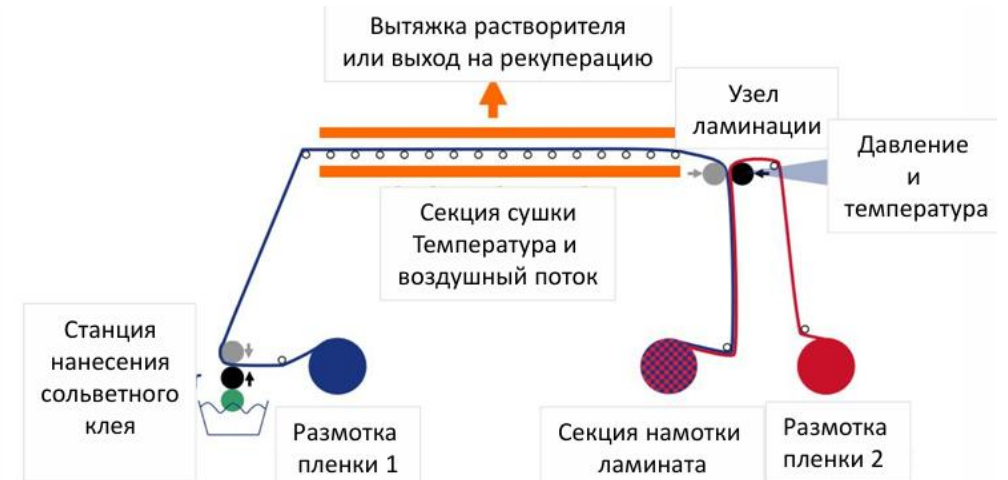


Илья Юрьевич Васильев,
Московский политех, Москва | 24 - 25. 11. 2025

АКТУАЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



Технологическая схема производства двухслойных (а) и трехслойных (б) полимерных пленок



Технологическая схема сухого каширования для производства многослойных пленок

ЦЕЛЬ:

Разработка метода повышения адгезионной прочности многослойных пленок при обработке расплава полиэтилена ультразвуком в процессе экструзионного ламинирования.

ЗАДАЧИ:

1. Установить возможность повышения адгезионной прочности расплава полиэтилена ультразвуковой обработкой при производстве многослойных пленочных материалов.
2. Исследовать изменения, происходящие в полиэтиленовом слое в результате воздействия ультразвуковой обработки расплава, которые определяют адгезионное взаимодействие в многослойных пленках: изменение молекулярно-массового распределения (ММР) ПЭНП, инициирование химического взаимодействия полиэтилена с кислородом и увеличение содержания полярных групп.
3. Исследовать возможность повышения адгезионной прочности многослойных пленок при использовании ПЭНП, обработанного ультразвуком при разных режимах обработки.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) марки 11503-070 производства ПАО «Казаньоргсинтез».

В качестве субстратов при экструзионном ламинировании использовали пленки производства ООО «ДПЗ» из:

- 2. Полиэтилентерефталата (ПЭТ).
- 3. Биаксиально-ориентированного полипропилена (БОПП).
- 4. Полиамида (ПА).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структурные параметры	Физико-химические свойства	Механические свойства	Теплофизические свойства
ГПХ (гель-проникающая хроматография)	Фурье ИК-спектроскопия	Сопротивление расслаиванию	ДСК (дифференциальная сканирующая калориметрия)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

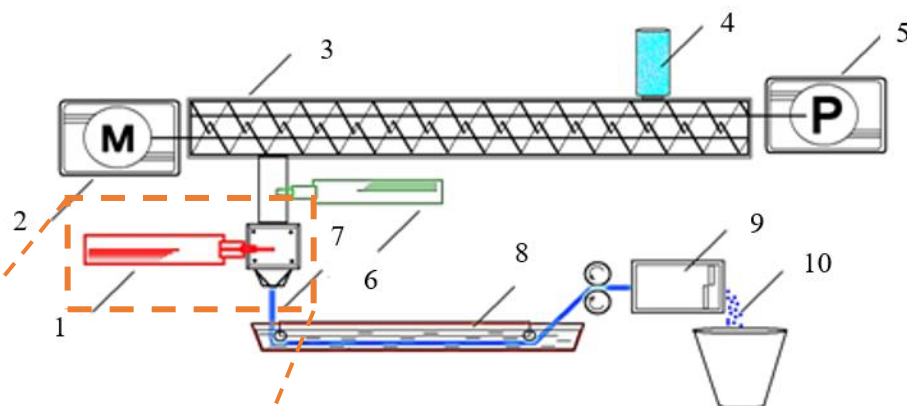


Схема установки для получения гранул полиэтилена, обработанных ультразвуком:

1 – ультразвуковая приставка, 2 – двигатель, 3 – двухшнековый экструдер,
4 – загрузочный бункер, 5 – редуктор, синхронизированный с двигателем,
6 – датчик давления, 7 – стренга, 8 – охлаждающая ванна, 9 – гранулятор,
10 – гранулы полимера

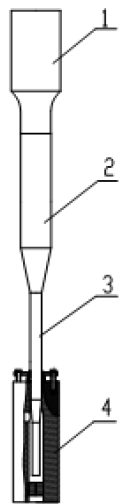


Схема узла ультразвуковой обработки:

1 – преобразователь ультразвуковых колебаний,
2 – концентратор, 3 – излучатель,
4 – экструзионная головка

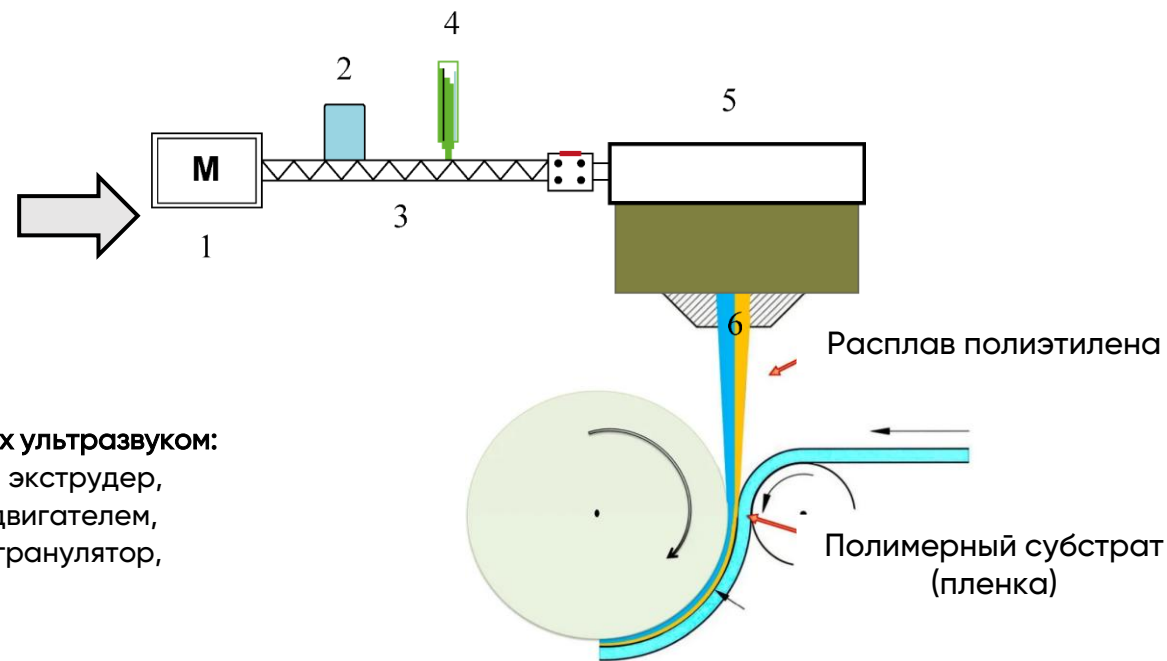
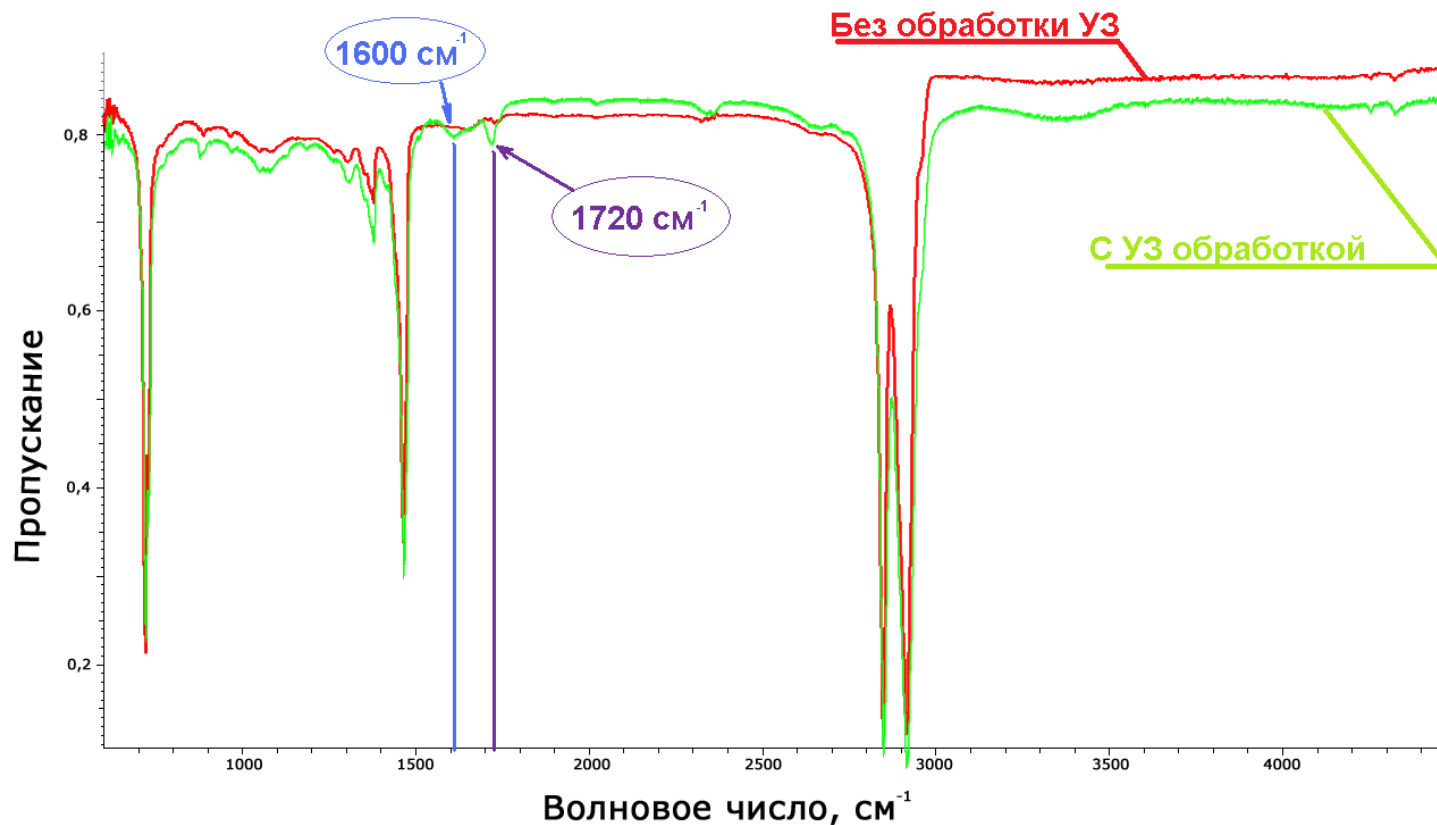


Схема экструзионной установки:

1 – двигатель, 2 – загрузочный бункер, 3 – шнек, 4 – датчик давления,
5 – плоскощелевая головка, 6 – расплав полимера

Наименование полимера	Температурные параметры зон плоскощелевого экструдера, °C				
	1 зона	2 зона	3 зона	4 зона	5 зона
ПЭНП	120	240	265	270	270

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК



Отношение амплитуд пиков полос поглощения ИК-спектров полиэтиленовых пленок

Наименование материала	D_{1600}/D_{1460}	D_{1720}/D_{1460}
ПЭНП без обработки УЗ	0,070	0,031
ПЭНП, обработанный УЗ	0,120	0,050

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК

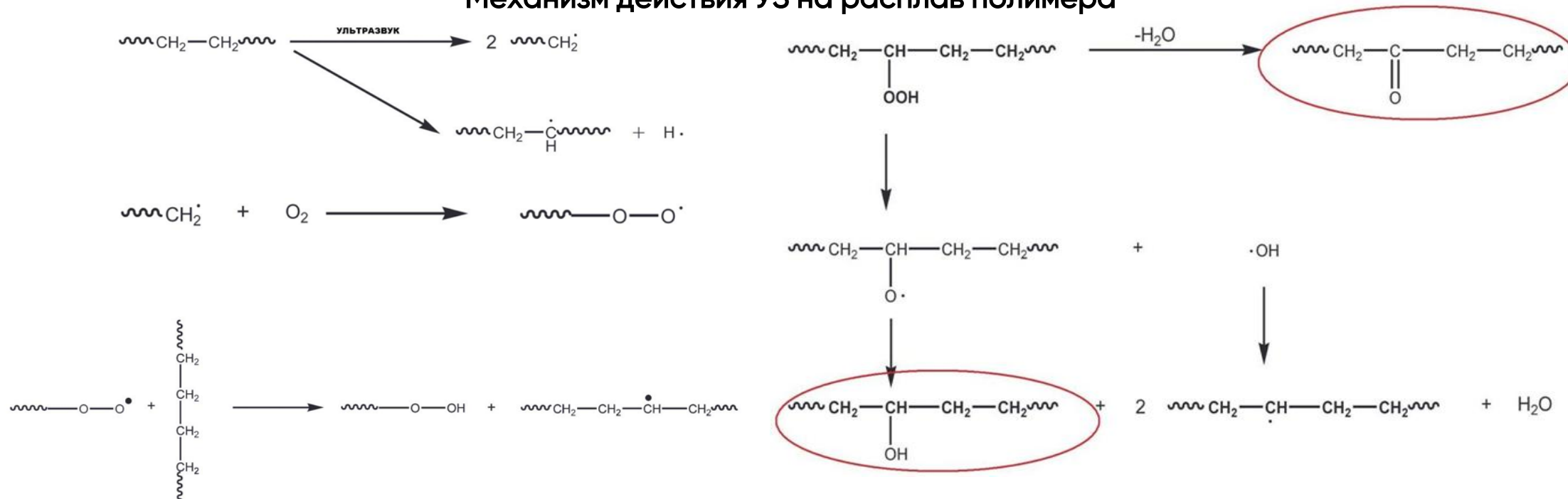
Молекулярные характеристики ПЭ пленок

Наименование материала	Mn	Mw	D
ПЭ при 270°C без обработки	43000	176000	4,1
ПЭ при 270°C с УЗ обработкой	40000	159000	4,0

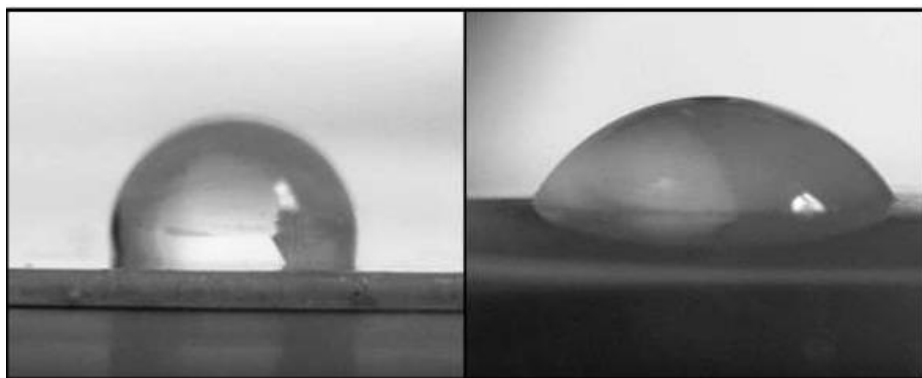
Теплофизические свойства гранулята и ПЭ пленок

Наименование материала	T _{пл} , °C	ΔH, Дж/г	χ _{кр} , %
Гранулы ПЭНП	112	106	33,4
ПЭ при 270°C без обработки	106	93,7	32
ПЭ при 270°C с УЗ обработкой	102	78	26,8

Механизм действия УЗ на расплав полимера



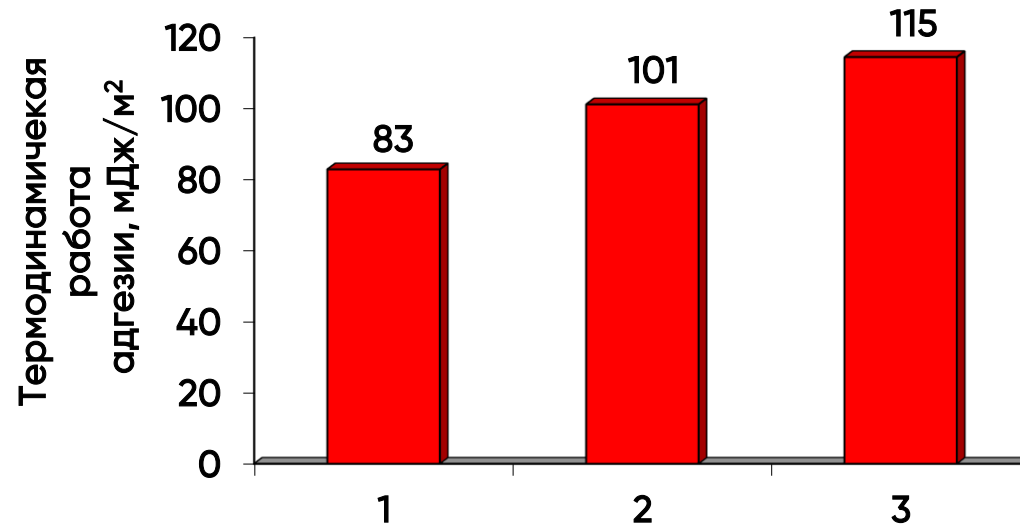
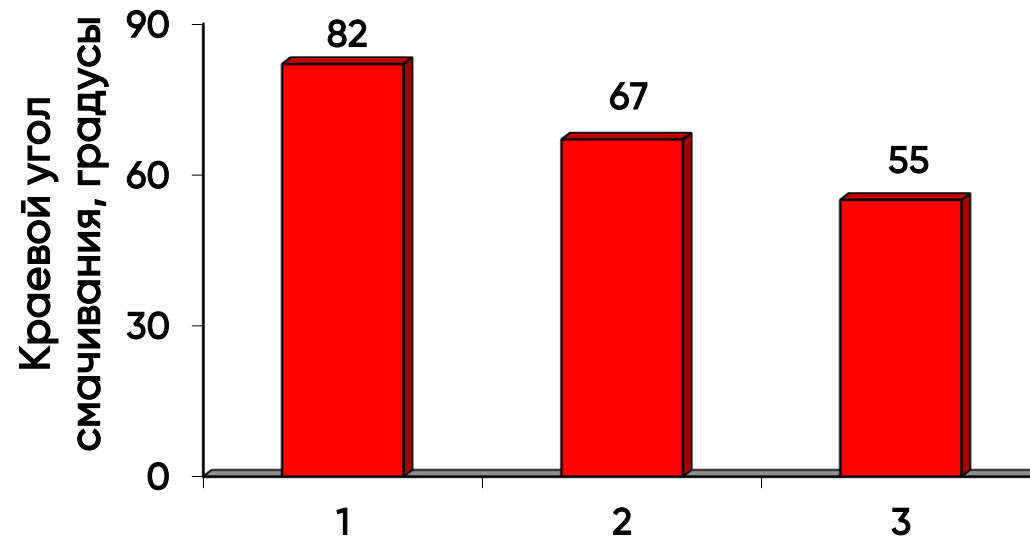
ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК



а

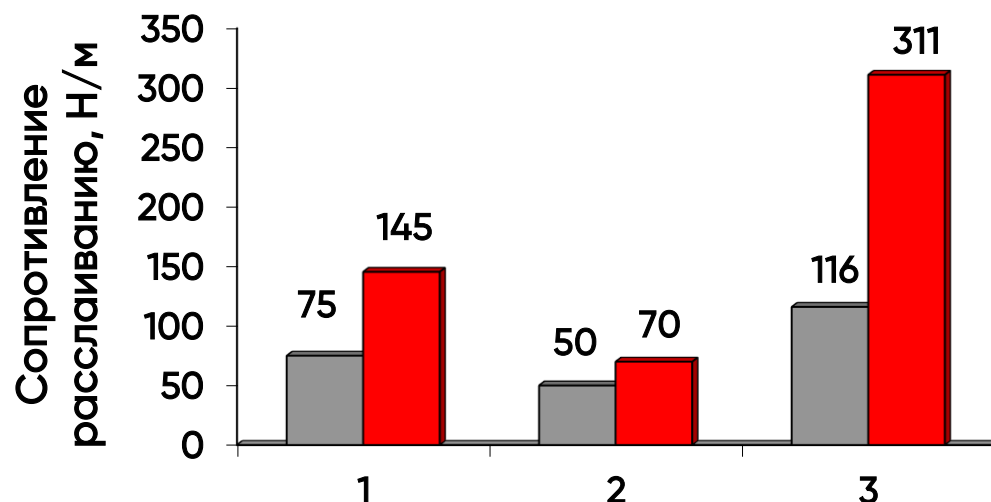
б

Внешний вид профиля капли дистиллированной воды:
а – пленка ПЭ без обработки УЗ, б – пленка ПЭ с
обработкой УЗ



1 – без УЗ, 2 – УЗ-0,75 кВт, 3 – УЗ-1,5 кВт

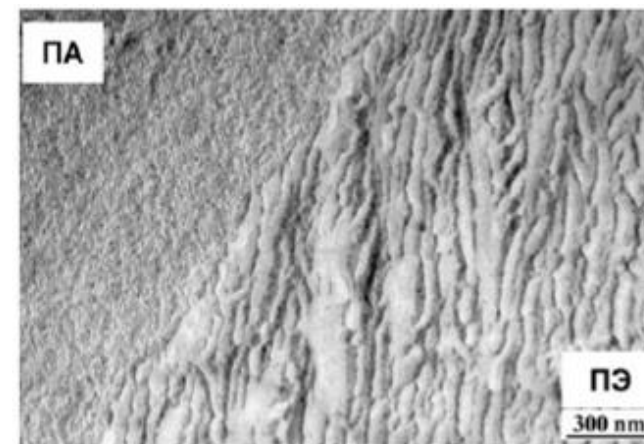
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК



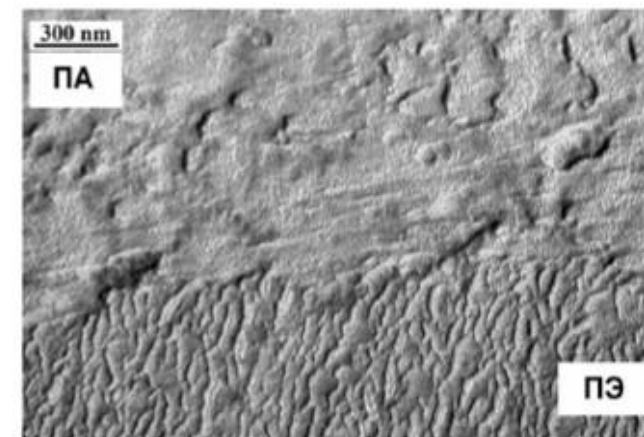
Сопrotивление расслаиванию многослойных пленок, полученных экструзионным ламинированием с обработкой расплава полиэтилена ультразвуком (красным) и без обработки (серым):

1 – ПЭНП, нанесенный на БОПП пленку; 2 – ПЭНП, нанесенный на ПЭТ пленку; 3 – ПЭНП, нанесенный на ПА пленку.

а



б



Электронные микрофотографии углеродных реплик поперечного среза пленки ПЭ/ПА:

а) образец, полученный без ультразвуковой обработки ПЭ

б) образец, полученный с ультразвуковой обработки ПЭ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что ультразвуковая обработка расплава полиэтилена в процессе экструзионного ламинирования способствует повышению адгезионной прочности многослойных пленок.
2. Определили, что на поверхности пленки, полученной из расплава ПЭНП, обработанного ультразвуком, отмечено увеличение содержания функциональных кислородосодержащих групп, поверхность становится более гидрофильной, степень кристалличности полимера снижается, ММР полиэтилена после обработки расплава ультразвуком снижается.
3. Определили, что обработка расплава ультразвуком позволяет производить многослойные пленки методом экструзионного ламинирования при температуре, не превышающей 270°C , что обеспечивает достаточно высокое адгезионное взаимодействие без дополнительных адгезивов.

Спасибо за внимание !

Илья Юрьевич Васильев,

Московский политехнический университет, Москва |
24 - 25. 11. 2025

E-mail: iljanaras@ya.ru

