

УДК 675:577.12.2.014

П.А. ГЛУБІШ, Н.С. АРДЕЛЬСЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ЧИННИКІВ НА ДЕФОРМАЦІЙНІ  
ВЛАСТИВОСТІ ПРОДУКТІВ ДЕСТРУКЦІЇ КОЛАГЕНВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Наведено результати досліджень впливу температури і концентрації продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів на їх деформаційні властивості. Встановлені залежності напруження зсуву від швидкості і динамічної в'язкості від напруження зсуву при різних температурах.*

**Ключові слова:** деформація, колагеновмісні матеріали, напруження зсуву, динамічна в'язкість, швидкість зсуву.

У роботах [1,2] детально досліджено залежність напруження зсуву від швидкості зсуву і динамічної в'язкості від напруження зсуву продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів.

На основі проведених досліджень одержана аналітична залежність між напруженням зсуву, градієнтом швидкості і динамічною в'язкістю продуктів деструкції, нейтралізованих різними кислотами.

Представляло великий практичний інтерес дослідження впливу температури і концентрації продуктів деструкції при різних напруженнях зсуву на їхні реологічні властивості. Це пов'язано з тим, що дані про вплив температури на змінення напруження зсуву і динамічної в'язкості продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів мають велике практичне значення для встановлення механізму їх течії, а також зв'язку між їхньою структурою і деформуванням під дією зовнішніх сил зсуву.

**Постановка завдання**

Мета цієї роботи – дослідження впливу температури і концентрації продуктів деструкції колагеновмісної вторинної сировини на їхні деформаційні властивості.

**Об'єкти та методи дослідження**

Об'єкт дослідження – продукт деструкції колагеновмісних матеріалів, нейтралізований метановою кислотою до рН-8,4. Визначення залежності напруження зсуву від швидкості зсуву і динамічної в'язкості від напруження зсуву продуктів деструкції проводили при температурах 23°C, 30°C, 40°C і 50°C.

При визначенні впливу концентрації продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів на їхні деформаційні властивості об'єктом дослідження були 10, 20 і 40%-ні водні розчини цих продуктів

Дослідження деформаційних властивостей продукту деструкції колагеновмісних матеріалів проводили за допомогою ротаційного віскозиметру Rheotest – 2. Вимірювання проводили за кімнатної температури (23±2° С).

**Результати досліджень та їх обговорення**

Для кількісної оцінки впливу температури і концентрації водних розчинів продуктів деструкції колагеновмісної сировини на їхню динамічну в'язкість і напруження зсуву при різних швидкостях зсуву на основі експериментальних даних проведені регресійні розрахунки і за одержаними даними побудовані графіки логарифмічної функції кількісної залежності різних чинників. На рис. 1, 2 наведені дані по впливу температури продуктів деструкції колагеновмісної сировини на залежність натурального логарифму напруження зсуву від натурального логарифму швидкості зсуву і на залежність натурального логарифму динамічної в'язкості від напруження зсуву. На рис. 3 показано залежність динамічної в'язкості ( $\ln$ ) від температури продукту деструкції при різних швидкостях зсуву.

Графіки кожної логарифмічної функції наочні і забезпечують легкий огляд наведених даних. Використання дії логарифмування спрощує аналіз експериментальних даних і дає можливість зробити висновки.

На основі даних рис. 3 виведені рівняння лінійної регресії, які з необхідною точністю ( $R^2 = 0,92-1,0$ ) описують загальні закономірності кількісного зв'язку між температурою і  $\ln\eta$  з урахуванням швидкості зсуву.

При швидкості зсуву $9 \text{ c}^{-1}$ :	$Y = -0,0109x + 5,8403, \quad R^2 = 0,9935;$
при швидкості зсуву $27 \text{ c}^{-1}$ :	$Y = -0,0269x + 5,5379, \quad R^2 = 0,9232;$
при швидкості зсуву $81 \text{ c}^{-1}$ :	$Y = -0,0413x + 5,3755, \quad R^2 = 0,9593;$
при швидкості зсуву $1312 \text{ c}^{-1}$ :	$Y = -0,0297x + 4,1866, \quad R^2 = 0,9999.$

Щільне розташування і майже однаковий нахил всіх кривих лінійної регресії підтверджують суттєвий вплив температури на динамічну в'язкість продуктів деструкції.

Аналіз кривих рисунків 1–3 показує, що деформаційні властивості продуктів деструкції колагенвмісних матеріалів, як і багатьох високомолекулярних сполук, чутливі до зміни температури. При підвищенні температури від  $23^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$  різко зменшується динамічна в'язкість продуктів деструкції і, відповідно, покращується їх течія.

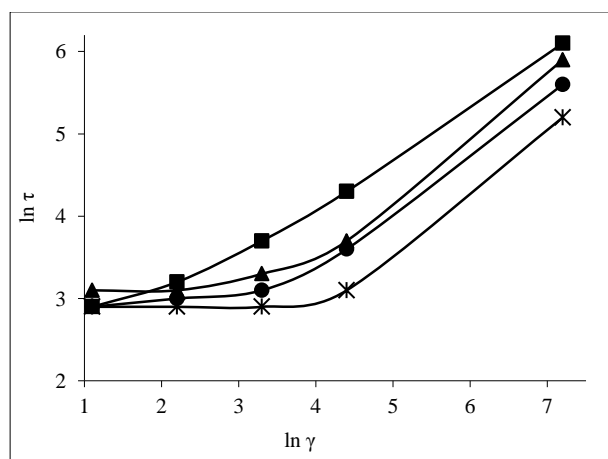


Рис. 1. Вплив температури продукту деструкції колагенвмісної сировини на залежність  $\ln\tau$  від  $\ln\gamma$

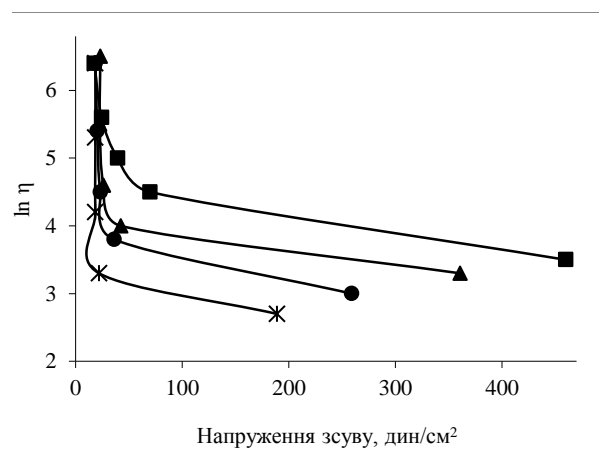


Рис. 2. Вплив температури продукту деструкції колагенвмісної сировини на залежність  $\ln\eta$  від напруження зсуву

Температура продукту деструкції:

■ –  $23^\circ\text{C}$ ; ▲ –  $30^\circ\text{C}$ ; ● –  $40^\circ\text{C}$ ; \* –  $50^\circ\text{C}$ .

Так, наприклад, при підвищенні температури продукту деструкції на  $27^\circ\text{C}$ , тобто з  $23^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$ , при швидкості зсуву  $145,8 \text{ c}^{-1}$  динамічна в'язкість зменшується в 2,2 рази.

Характер розміщення кривих течії продуктів деструкції на рис. 1 в основному однаковий при всіх температурах. Можна зазначити, що криві течії при різних температурах мають дві ділянки. Перша – дуже стрімке прямування кривих зверху вниз, навіть при незначному підвищенні напруження зсуву, причому, чим вища температура продуктів деструкції, тим швидше крива наближається до вертикальної.

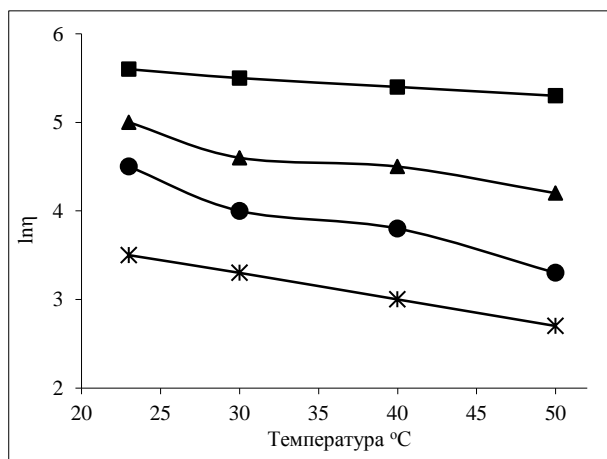


Рис. 3. Залежність  $\ln \eta$  продукту деструкції колагеновмісної сировини від їх температури при таких швидкостях зсуву:

■ – 9 с<sup>-1</sup>; ▲ – 27 с<sup>-1</sup>; ● – 81 с<sup>-1</sup>; \* – 1312 с<sup>-1</sup>

При деструкції колагеновмісної вторсировини під дією температури і хімічних препаратів проходять різні процеси деструкції з утворенням олігомерних поліпептидів різної молекулярної маси і, відповідно, з різною кількістю активних карбоксильних, гідроксильних, іміно- і аміногруп.

Вид і кількість активних груп в продуктах деструкції залежить від ступеня розщеплення твердих колагеновмісних матеріалів.

Ці активні групи поліпептидних фрагментів здатні внутрішньо- і міжмолекулярно взаємодіяти між собою з утворенням структурованих систем зі збільшеним розміром.

Це призводить до зростання структурної в'язкості водних розчинів продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів.

При сумісній дії підвищеної температури і напруження зсуву одночасно і послідовно проходить сукупність процесів, які визначають характер течії продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів.

Підвищення температури прискорює руйнування структурних систем, міцність яких залежить від міцності зв'язків різних функціональних груп, які були в колагеновмісних матеріалах і новостворених в процесі їх деструкції.

Пришвидшення руйнування просторових структур між макромолекулами олігомерних поліпептидів за рахунок міжмолекулярних і внутрішньо молекулярних зв'язків між різними активними групами з підвищенням температури призводить до зниження структурної складової в'язкості продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів і, відповідно, до зниження опору переміщення одного їх шару відносно другого під дією зовнішніх сил.

Під одночасною дією напруження зсуву і температури частина звернутих в клубок макромолекул олігомерних поліпептидів розпрямляються і орієнтуються в напрямі потоку, що також сприяє зниженню в'язкості продуктів деструкції.

Все це пояснюється тим, що з підвищенням температури відбувається руйнування структурної

Друга ділянка – при подальшому підвищенні напруження зсуву зі збільшенням температури криві в'язкості продуктів деструкції дуже швидко наближаються до кривих в'язкості ньютонівських рідин, тобто криві залежності в'язкості від напруження зсуву наближаються до горизонтальних кривих.

Це можна пояснити таким чином. Як відомо, в'язкість водних розчинів високомолекулярних сполук залежить в основному від їх молекулярної маси, розміру і форми, від наявності в них і виду функціональних груп і їх взаємодії, а також від теплового руху макромолекул.

складової в'язкості продуктів деструкції, інтенсивність якого збільшується з підвищенням напруження зсуву.

Температурна залежність в'язкості продуктів деструкції від напруження зсуву врахована при розробленні температурних параметрів оброблення ними шкір.

Підвищення температури продуктів деструкції з 23°C до 50°C сприяє послабленню міцності міжмолекулярних і внутрішньо-молекулярних зв'язків і, відповідно, призводить до більш ефективного руйнування різних надмолекулярних структурних утворень при збільшенні напружень зсуву, що призводить до покращення реологічних властивостей водних розчинів продуктів деструкції.

Таким чином, у результаті проведення комплексних досліджень встановлена залежність реологічних властивостей продуктів деструкції, одержаних з колагенвмісних матеріалів, від комплексної дії температури і зсувних напружень.

Практичний інтерес представляють також дослідження реологічних властивостей розбавлених 40%-х водних розчинів продуктів деструкції.

Об'єкти дослідження – 10, 20 і 40%-ні водні розчини продуктів деструкції, нейтралізованих до рН – 8,3.

На рис. 4 графічно зображена функціональна залежність динамічної в'язкості ( $\ln \eta$ ) від концентрації водних розчинів продуктів деструкції колагенвмісної сировини при різних швидкостях зсуву, на рис. 5 – вплив концентрації водних розчинів продуктів деструкції колагенвмісної сировини на залежність напруження зсуву від швидкості зсуву, виражених в натуральних логарифмах.

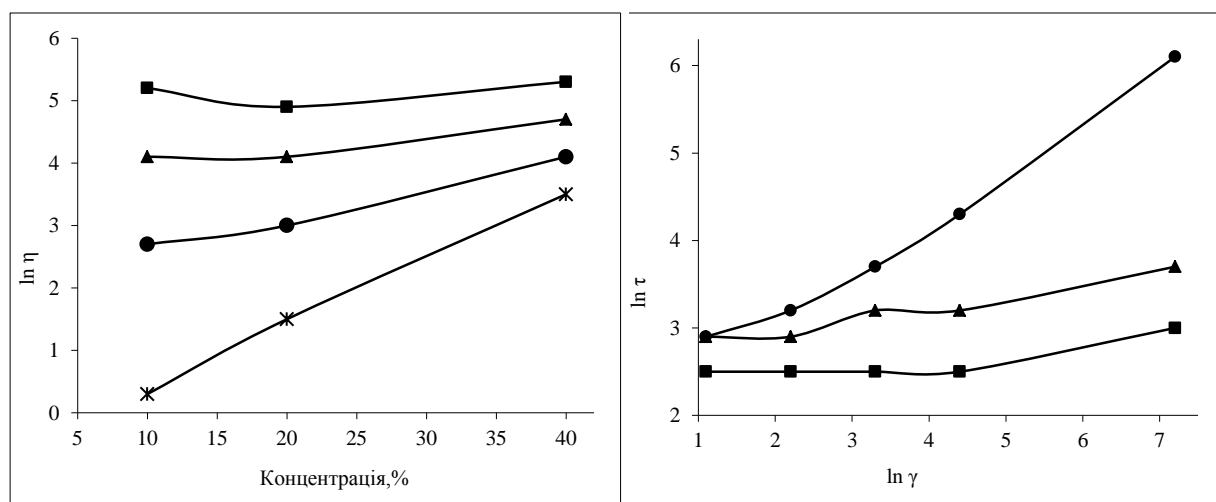


Рис. 4. Залежність  $\ln \eta$  продукту деструкції колагенвмісної сировини від їх концентрації у воді при таких швидкостях зсуву:  
■ – 9 с<sup>-1</sup>; ▲ – 27 с<sup>-1</sup>; ● – 81 с<sup>-1</sup>; \* – 1312 с<sup>-1</sup>

Рис. 5. Вплив концентрації водних розчинів продуктів деструкції колагенвмісної сировини на залежність  $\ln \tau$  від  $\ln \gamma$ . Концентрація водних розчинів, продуктів деструкції колагенвмісної сировини:  
■ – 10,0%; ▲ – 20,0%; ● – 40,0%

На основі комплексних досліджень встановлена математична модель залежності динамічної в'язкості продуктів деструкції колагенвмісної сировини, вираженої у натуральних логарифмах, від їх концентрації у воді при різних швидкостях зсуву, яка описується такими рівняннями регресії:

при швидкості зсуву $9 \text{ с}^{-1}$ :	$Y = 0,0017x^2 - 0,08x + 5,8333,$	$R^2 = 1;$
при швидкості зсуву $27 \text{ с}^{-1}$ :	$Y = 0,001x^2 - 0,03x + 4,3,$	$R^2 = 1;$
при швидкості зсуву $81 \text{ с}^{-1}$ :	$Y = 0,0008x^2 + 0,005x + 2,5667,$	$R^2 = 1;$
при швидкості зсуву $1312 \text{ с}^{-1}$ :	$Y = -0,0007x^2 + 0,14x - 1,0333,$	$R^2 = 1.$

Наведені регресійні квадратичні рівняння показують, що між динамічною в'язкістю і концентрацією водних розчинів продуктів деструкції колагенвмісної сировини існує щільний кореляційний зв'язок.

Аналіз кривих рис. 4, 5 показує, що зі зменшенням концентрації продуктів деструкції різко зменшується їх напруження зсуву при різних градієнтах швидкості. Так, наприклад, при розбавленні 40%-них водних розчинів продуктів деструкції в 2–4 рази їх динамічна в'язкість при незначних напруженнях зсуву ( $20\text{--}50 \text{ дин/см}^2$ ) різко зменшується і при подальшому збільшенні напруження зсуву від  $50$  до  $150 \text{ дин/см}^2$  динамічна в'язкість майже не змінюється, тобто режим течії розбавлених водних розчинів наближається до режиму течії ньютонівських рідин. При розбавленні водою продуктів деструкції, як і різних високомолекулярних сполук, різко зменшується напруження зсуву і в'язкість при постійних швидкостях зсуву. Так, при розбавленні продуктів деструкції в 3–4 рази, різко зменшується напруження зсуву, а напруження зсуву розбавлених продуктів деструкції слабо залежить від швидкості зсуву, тобто течія таких розчинів наближається до течії ньютонівських рідин. Таким чином, зменшення концентрації продукту деструкції у воді призводить до зміни характеру надмолекулярних взаємодій, а саме до їх різкого послаблення і, відповідно, до зниження прикладання зусиль, необхідних для їх руйнування і для посилення течії при незначних напруженнях. Тому під дією незначних напружень в розбавлених розчинах продуктів деструкції без ускладнень проходить послаблення більш міцних міжмолекулярних зв'язків, руйнування різних слабких міжмолекулярних зв'язків і деформацій та орієнтація макромолекул в потоці, що призводить до різкого зменшення в'язкості продуктів деструкції.

Все це призводить до стрімкого зменшення напруження зсуву вже при незначному збільшенні швидкості зсуву ( $10\text{--}150 \text{ с}^{-1}$ ) і дуже швидко досягається ньютонівський характер течії розбавлених розчинів продуктів деструкції. Встановлено, що підвищення температури і зниження концентрації продуктів деструкції у воді призводить до зниження напруження зсуву при постійних значеннях швидкості зсуву, що пояснюється їх позитивним впливом на процес руйнування надмолекулярних структурних елементів і послабленням міжмолекулярної взаємодії.

### **Висновки**

1. На основі проведених досліджень одержана аналітична залежність між напруженням зсуву, градієнтом швидкості і динамічною в'язкістю продуктів деструкції при різних температурах.

2. Встановлено, що підвищення температури синтезованих препаратів з колагенвмісних матеріалів на першому етапі призводить до стрімкого зменшення динамічної в'язкості при збільшенні напруження зсуву, а при подальшому збільшенні напруження зсуву крива течії наближається до режиму течії ньютонівських рідин.

## Список використаної літератури

1. Глубіш П.А. Дослідження реологічних властивостей продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів. Повідомлення 1. //Вісник КНУТД. – №5. – 2011. – С. 45–51.
2. Глубіш П.А. Дослідження реологічних властивостей продуктів деструкції колагеновмісних матеріалів. Повідомлення 2. //Вісник КНУТД. – №6. – 2011. – С. 107–112.

Стаття надійшла до редакції 29.11.2012

**Исследование влияния различных факторов на деформационные свойства продуктов деструкции коллагенсодержащих материалов**

Глубиш П.А., Ардельская Н.С.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

Приведены результаты исследований влияния температуры и концентрации продуктов деструкции коллагенсодержащих материалов на их деформационные свойства. Установлены зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига и динамической вязкости от напряжения сдвига при различных температурах.

**Ключевые слова:** деформация, коллагенсодержащие материалы, напряжение сдвига, динамическая вязкость, скорость сдвига.

**Investigation of influence of various factors on the deformational properties of products of destruction of materials which contain collagen**

P. Glubish, N. Ardelska

*Kyiv National University of Technologies and Design*

The results of investigations of the influence of temperature and concentration of products of destruction of materials which contain collagen on their deformational properties are shown. Dependences of shear stress versus shear rate and dynamic viscosity versus shear rate at different temperatures was established.

**Keywords:** deformation, materials which contain collagen, shear stress, dynamic viscosity, shear rate.