

18. Аммер, С. А. Нитевидные кристаллы [Текст] : учеб. / С. А. Аммер, В. С. Постников. — Воронеж, политех. инстит., 1974. — 284 с.

*Abstract. The paper considers the existing views on the conventional methods of growing filamentary metal crystals, analyzes the kinetics of growing metal whiskers, examines disadvantages of various methods of producing this type of filamentary crystals, and studies their crystallization in the process of growing. Metal carbonyls, which are widely used in growing filamentary crystals, have been successfully used, particularly in metallurgy (in manufacturing metals and alloys), in chemical industry (in synthesizing organic compounds), in machine building (for obtaining protective and decorative coverings), etc. It proves that the industrial importance of carbonyls and metal carbonyls is constantly rising, which makes studies on growing the crystals in modern conditions rather topical. Meanwhile, it is obvious that so far studies on theoretical problems and practical application of metal carbonyls lack clear systematization. Our review of the studies has resulted in a clear understanding of the conventional methods of growing filamentary metal crystals. We have thoroughly analyzed the kinetics of growing metal whiskers, examined the current disadvantages of various methods of growing filamentary crystals, and studied the problems of their crystallization in the process of growing. The study findings can be conducive to improving the manufacture of products so that they could meet the requirements of environmental legislation, which will furthermore facilitate protection of man and environment from anthropogenic factors.*

*Keywords: filamentary crystals, methods of growing, metal whiskers, kinetics of growth, mode of evaporation.*

УДК 691.175.743

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36791

## ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТРУБ З ПВХ

**Найда Андрій Михайлович**

Директор ТзОВ «Калуський трубний завод», вул. Промислова, 7, м. Калуш, Україна, 77300

E-mail: najda@katz.com.ua

*В статті розглядаються дослідження механічних властивостей труб з ПВХ-О, таких як пружність, еластичність, відносне видовження, вплив температур на них. Наведені принципові особливості полімерного стану речовин, що визначають механічні властивості труб. Показано криву деформації аморфного полімеру при постійній швидкості розтягу і різних температурах.*

*Ключові слова: полімерний матеріал, труба з ПВХ-О, полівінілхлорид, пружність, еластичність, відносне видовження.*

*В статье рассматриваются исследования механических свойств труб из ПВХ-О, как упругость, эластичность, относительное удлинение, влияние температур на них. Приведены принципиальные особенности полимерного состояния веществ, определяющих механические свойства труб. Показано кривую деформации аморфного полимера при постоянной скорости растяжения и различных температурах.*

*Ключевые слова: полимерный материал, труба из ПВХ-О, поливинилхлорид, упругость, эластичность, относительное удлинение.*

### 1. Вступ

Деякі десятиліття системи внутрішньої і зовнішньої водопровідної системи монтувались із сталених оцинкованих труб. Сьогодні їх введено витісняють полімерні труби, зокрема труби із непластифікованого полівінілхлориду (НПВХ).

В даний час найкращим шляхом є напрям випуску труб ПВХ з молекулярною орієнтацією або труби з орієнтованого ПВХ (ПВХ-О).

Труби з орієнтованого ПВХ — найдосконаліші труби для транспортування води під тиском, які на сьогоднішній день доступні на ринку. Завдяки процесу молекулярної орієнтації ці труби виділяються

значною кількістю виняткових особливостей серед інших труб, призначених для цієї області застосування. ПВХ за своєю природою — аморфний полімер, молекули якого розташовані безладно.

## 2. Мета статті та постановка проблеми

Метою статті є відображення які механічні характеристики, властивості існують в трубі з ПВХ-О, створення теоретичної бази досліджень таких характеристик, як пружність, еластичність, відносно видовження.

В даний час проблемі дослідження механічних властивостей труб з ПВХ-О приділено дуже мало уваги. Практично відсутня теоретична база визначення механічних властивостей даних труб.

## 3. Актуальність теми досліджень

Актуальність теми дослідження механічних характеристик труб з ПВХ-О дозволить визначити вплив орієнтації молекул, вплив зовнішніх факторів, такі як температура, тиск і т. д. на міцнісні властивості труб, покращити їх експлуатаційні властивості.

## 4. Стан дослідженості проблематики у науковій літературі

Проблему визначення механічних властивостей труб з полівінілхлориду висвітлено в наукових працях відомих науковців, таких як Тугов І. І., Костиркіна Г. І. [1], Гуль В. Е., Кулезнев В. Н. [2, 3], Д. В. Ван Кревелен [4], Аскадский А. А. [5], Беренфельд В. А. [8], і інші.

## 5. Дослідження впливу параметрів пружності, еластичності, видовження та температури на механічні властивості труб з ПВХ-О

Властивості полімеру, як і будь-якої речовини, залежать від його хімічного будови, що визначає гнучкість і щільність упаковки макромолекулярних ланцюгів.

Для покращення механічних властивостей труб з ПВХ використовується технологія виготовлення даних труб шляхом молекулярної орієнтації. Однак для того, щоб розуміти як дана орієнтація впливає на механічні властивості труб необхідно зрозуміти які фактори, показники, що визначають цю орієнтацію.

Проблема отримання полімерних матеріалів із заданими властивостями, наприклад із заданими механічними властивостями, не вирішується тільки отриманням нових високомолекулярних речовин, оскільки властивості матеріалу в значній мірі залежать від структури, яка надається полімеру в процесі переробки. Змінюючи структуру матеріалу, можна підвищити його міцність у кілька разів.

Механічні властивості полімерів залежать від ряду так званих структурних модифікацій — орієнтації макромолекул і надмолекулярних структур, розміру останніх, наповнення, пластифікації та ін. Крім того, механічні властивості залежать від частоти сітки в полімері. Одним з найбільш поширених способів зміни структури полімерного матеріалу з метою зміцнення є його витяжка в процесі переробки. При цьому відбувається орієнтація ланцюгів і надмолекулярних структур. При регулярній будові молекул аморфного полімеру можлива його кристалізація.

До механічних властивостей полімерів відноситься комплекс властивостей, що визначають їх механічну поведінку при дії зовнішніх сил.

Принципові особливості полімерного стану речовини визначає ряд характерних рис механічних властивостей полімерів, [1]:

- ➔ здатність до великих зворотних деформацій (високоеластичний фізичний стан);
- ➔ релаксаційний характер деформації, тобто залежність від часу дії;
- ➔ здатність набувати анізотропію властивостей і зберігати її при припиненні впливу (всі хімічні волокна і плівки знаходяться в орієнтованому стані і володіють яскраво вираженою анізотропією структури і фізико-механічних властивостей).

Механічні властивості полімерів можна розділити на деформаційні властивості і властивості міцності.

Найважливішими з деформаційних властивостей є пружність, еластичність (високоеластичність), тобто здатність тіла відновлювати форму і розміри після припинення дії зовнішніх сил. Ці поняття не рівнозначні.

Пружність — це деформації, що розвиваються в полімері зі швидкістю звуку, тобто миттєво, [1].

Еластичність — це високоеластичні деформації, запізнілі у часі, [1].

Кількісно пружність і еластичність оцінюються модулем пружності  $E$  (модуль Юнга), що визначаються згідно закону Гука, [1]:

$$\sigma = E \cdot \epsilon, \quad (1)$$

де  $\sigma$  — механічне напруження, МПа;  $\epsilon$  — відносна деформація, %.

Для полівінілхлориду  $E = 2700$  МПа, а для канчуків  $E = 1-10$  МПа. Модуль пружності характеризує протидію полімеру зміні розміру і форми під дією зовнішньої сили, з цієї точки зору полімери діляться на тверді з  $E > 103$  МПа і м'які з  $E < 102$  МПа. Отже полівінілхлорид відноситься до твердих полімерів.

Залежність напруги від величини відносного подовження — крива деформації [2], є наочною характеристикою деформаційних властивостей полімеру (зразок розтягують з постійною швидкістю) (рис. 1).

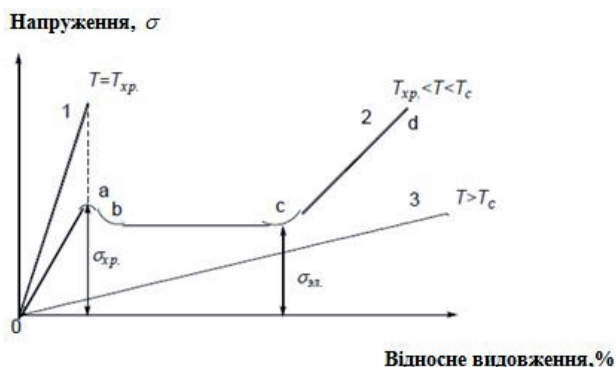


Рис. 1. Крива деформації аморфного полімеру (при постійній швидкості розтягу і різних температурах)

При температурах нижче  $T_{xp}$  руйнуванню полімеру передують малі деформації, пов'язані з проявом пружності (крива 1). При  $T_{xp} < T < T_c$  відразу ж за ділянкою  $Oa$ , що відповідає пружним деформаціям склоподібних полімерів, починається область  $bc$  великих деформацій, що розвиваються при практично постійних напруженнях (крива 2) (див. рис. 1).

Явище виникнення великих зворотних деформацій у полімерних матеріалах під дією механічного напруження було названо А. П. Александровим вимушеною еластичністю [2]. Це явище пояснюється тим, то при дії великих механічних напружень на полімер сегменти його макромолекул набувають певну рухливість.

Важливо пам'ятати, що деформація вимушеної еластичності при  $T < T_c$  незворотня, і лише при  $T > T_c$  зразок відновлює форму і розміри, [2].

Таким чином, температуру крихкості можна охарактеризувати як температуру, вище якої в полімері розвивається вимушена еластичність.

Температура крихкості для полівінілхлориду складає  $-90^\circ\text{C}$ , температура скловання  $81^\circ\text{C}$ . Різниця між температурою скловання і температурою крихкості –  $171^\circ\text{C}$ , [2].

В результаті цього крихке руйнування, супроводжуване малими деформаціями, переходить у високоеластичне руйнування, якому передують великі деформації. Очевидно, що склоподібні полімери слід експлуатувати при  $T_{xp} < T < T_c$ , бо при  $T < T_{xp}$ , невеликі деформації призводять до руйнування полімеру. Зазвичай  $T_{xp}$ , визначають як температуру, при якій спостерігається злам на кривих залежностей  $\sigma-T$  і  $\epsilon-T$ , [2].

Орієнтація полімеру також приводить до зниження  $T_{xp}$ . Зі зміною молекулярної маси  $T_{xp}$  змінюється спочатку аналогічно  $T_c$ , досягаючи максимального значення при молекулярній масі, близькій до молекулярної маси механічного сегмента, потім поступово знижується.

Розглянемо більш детально явища, що відповідають ділянці  $bc$  кривої 2. Виникнення і збільшення рухливості сегментів із зростанням напруження

призводять до збільшення швидкості релаксації в полімері. Коли швидкість релаксації напруження порівнюється зі швидкістю деформації, на кривій деформації виникає плато. Напруження, що рівне висоті плато, називається межею вимушеної еластичності  $\sigma_{ел}$ .

Оскільки переміщення сегментів під дією прикладеного напруження носить спрямований характер, наслідком його є орієнтація макромолекул уздовж напрямку витяжки. З початком орієнтації робоча частина зразка стрибкоподібно тоншає, на ній з'являється шийка, в області якої всі макромолекули орієнтовані. У момент утворення шийки швидкість релаксації максимальна, і напруження в зразку зменшується настільки істотно, що на кривій деформації спостерігається спад (область  $ab$ ). При подальшому розтягуванні зразка орієнтація макромолекул триває, в результаті чого шийка поширюється на всю його робочу частину (область  $bc$ ). Після закінчення орієнтації напруження у зразку знову зростає, і по досягненні межі міцності він руйнується (область  $cd$ ).

Явища орієнтації, виникнення шийки, наявність плато на кривих деформації характерні як для аморфних, так і для кристалічних полімерів, однак найбільш яскраво орієнтована структура виражена для останніх. Модель структури орієнтованого кристалічного полімеру запропонував А. Петерлін (рис. 2) [2]:

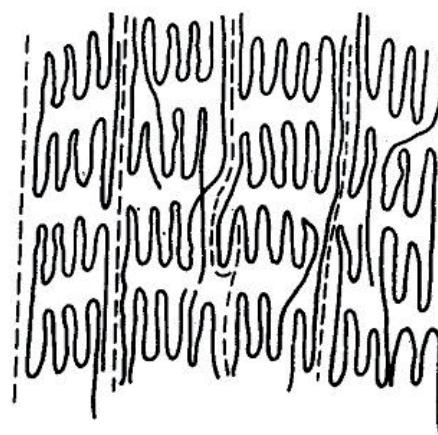


Рис. 2. Модель структури орієнтованого кристалічного полімеру

Основним елементом структури є фібрила, що складається з чергуючи між собою областей аморфного і кристалічного полімеру. Макромолекули в кристалічних областях фібрили укладені в складчастих конформаціях таким чином, що їхні осі збігались з головною віссю фібрили і напрямом витяжки. Одна і та ж макромолекула може бути включена в кілька кристалічних і аморфних областей. У поперечному напрямку фібрили також розділені областями аморфного полімеру.

Така будова орієнтованого кристалічного полімеру пояснює особливості його механічних властивостей. Так, міцність орієнтованого полімеру в напрямку витяжки (поздовжня) на порядок вище поперечної міцності. Це пояснюється тим, що навантаження в поздовжньому напрямку сприймається великим числом частково випрямлених ланцюгів, а в поперечному — рідкісними прохідними ланцюгами, що зв'язують фібрили. Слабкий зв'язок фібрил в поперечному напрямку пояснює добре відомі факти розщеплення під навантаженням волокон кристалічних полімерів.

Отже на основі, вищевикладеного видно яким чином впливають параметри пружності, еластичності, видовження, температури на механічні властивості труб при їх орієнтації, в результаті чого ці властивості покращуються.

## 6. Висновки

Проблема отримання полімерних матеріалів із заданими властивостями не вирішується тільки отриманням нових високомолекулярних речовин, оскільки властивості матеріалу в значній мірі залежать від структури, яка надається полімеру в процесі переробки. Змінюючи структуру матеріалу, можна підвищити його міцність у кілька разів.

1. Розглянуті механічні властивості труб з ПВХ-О, які визначають вплив орієнтації на ці властивості, а саме пружність, еластичність, відносне видовження.

2. Показана модель структури орієнтованого кристалічного полімеру, показані особливості його механічних властивостей.

3. Показані зміну значень механічних властивостей труб з ПВХ-О при зміні зовнішніх факторів.

## Литература

1. Тугов, И. И. Химия и физика полимеров [Текст] / И. И. Тугов, Г. И. Костыркина. — М.: Химия, 1989. — 432 с.
2. Гуль, В. Е. Структура и механические свойства полимеров [Текст] / В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев. — М.: Высшая школа, 1979. — 351 с.
3. Основы физики и химии полимеров [Текст] / под ред. В. Н. Кулезнева. — М.: Высшая школа, 1979. — 248 с.
4. Ван Кревелен, Д. В. Свойства и химическое строение полимеров [Текст] / Д. В. Ван Кревелен. — М.: Химия, 1976. — 416 с.
5. Аскадский, А. А. Структура и свойства теплостойких полимеров [Текст] / А. А. Аскадский. — М.: Химия, 1981. — 320 с.
6. Кулезнев, В. Н. Смеси полимеров [Текст] / В. Н. Кулезнев. — М.: Химия, 1980. — 304 с.
7. Михасенок, О. Я. Тенденции индустрии пластмасс [Текст] / О. Я. Михасенок // Полимерные материалы. — 2003. — № 1. — С. 6–9.
8. Беренфельд, В. А. Изделия из поливинилхлорида в современном зарубежном строительстве [Текст] / В. А. Беренфельд // Строительство и архитектура. — 1995. — Вып. 4. — С. 45.
9. Гришин, А. Н. Современные тенденции развития производства ПВХ [Текст] / А. Н. Гришин, А. Д. Гуткович, В. В. Шебырев // Пластике. — 2004. — № 1. — С. 29–33.
10. Минскер, К. С. Достижения и задачи исследований в области старения и стабилизации ПВХ [Текст] / К. С. Минскер, Г. Е. Заиков // Пластические массы. — 2001. — № 4. — С. 27–35.
11. Минскер, К. С. Деструкция и стабилизация ПВХ [Текст] / К. С. Минскер, Г. Т. Федосеева. — М.: Химия, 1972. — 424 с.

*Abstract.* The article deals with the study of mechanical properties of PVC-O pipes, such as elasticity, flexibility, relative elongation, impact of temperature on them. There are pointed fundamental features of state of polymer materials, determining the mechanical properties of pipes. There are shown strain curve of amorphous polymer at a constant rate tensile and different temperatures.

*Keywords:* polymeric material, PVC-O pipe, polyvinylchloride, flexibility, elasticity, relative elongation.