

Каунасский технологический университет

Научная лаборатория полимерных изделий

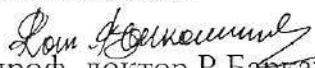
Отчет научно – исследовательской работы

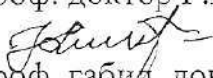
“Исследование физико – механических свойств пластиковых труб“

Отчет 3



Научный руководитель
проф. габил. доктор И.Люкайтис

Исполнители:


проф. доктор Р.Баркаускас


проф. габил. доктор И.Люкайтис

Подписи И.Люкайтиса и Р.Баркаускаса заверяю:


Декан факультета Дизайна и технологий КТУ
доц. докт. С.Станис



Каунас, 2002

Содержание

| | |
|---|----|
| 1. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ | 3 |
| 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ..... | 4 |
| 2.1 Механические характеристики труб из ХПВХ..... | 4 |
| 2.2. Механические характеристики труб из ПВХ..... | 8 |
| 2.3. Термический анализ материалов труб методом ДСК и ТГ..... | 10 |
| 3. ВЫВОДЫ..... | 16 |
| 4. ЛИТЕРАТУРА..... | 17 |
| 5. ПРИЛОЖЕНИЕ | 18 |

1. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытаниям в нормальных условиях (температура $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, влажность $65\pm 5\%$) подвергали пластиковые трубы из ХПВХ (хлорированного поливинилхлорида) и ПВХ (поливинилхлорида), ассортимент которых представлен в таблице 1.

Объекты исследования и их основные параметры

Таблица 1

| Сокращенное обозначение, размер и изготовитель трубы | Материал | Наружный диаметр D, мм | Толщина стенок h, мм |
|--|----------|------------------------|----------------------|
| UM 1/2"- USMetrix (Польша) | ХПВХ | 15.9 | 1.8 |
| GP 1/2"-Genova Products (США) | ХПВХ | 16.0 | 1.9 |
| UM 1/2"- USMetrix (Польша) | ПВХ | 21.4 | 1.8 |
| GP 1/2"-Genova Products (США) | ПВХ | 21.4 | 1.7 |
| NB 1/2"-NIBCO (Польша) | ХПВХ | 16,0 | 1,9 |
| Смотреть *Примечания 1-2 | | | |

Цель испытаний – исследовать физико-механические свойства труб из ХПВХ и ПВХ разных изготовителей и на основе полученных результатов определить наилучшие трубы, тем самым изготовителя, а также прогнозировать возможное их поведение в реальных условиях: во время транспортировки, складирования, монтажа и эксплуатации.

Для определения механических свойств образцы из ХПВХ и ПВХ испытывали: 1) на изгиб, 2) на сжатие, 3) на стойкость к ударным нагрузкам (см. приложение 1). Применение одинаковых методов исследования позволило сопоставить данные настоящих исследований с ранее проведенными.

Для определения физических свойств применялся метод дифференциальной сканирующей колориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ).

Метод ДСК позволяет определить переходные процессы в структуре пластиков под воздействием нагрева.

*Примечание 1: Механические свойства трубы из ХПВХ, NB 1/2"- NIBCO (Польша) были исследованы ранее и в данном отчёте эти результаты были сопоставлены с полученными результатами при исследовании труб из ХПВХ производства USMetrix (Польша) и Genova Products (США).

Примечание 2: Физические свойства методом ДСК и ТГ трубы из ХПВХ, NB 1/2"-NIBCO (Польша) не исследовались.

Термогравиметрия показывает потери массы пластиков под воздействием нагрева, позволяя при этом оценить термостабильность материалов.

С помощью методов ДСК и ТГ можно определять стабильность разных материалов труб, делать их сравнительный анализ одновременно оценить и свойства самих труб.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) представляет собой метод, с помощью которого регистрируется энергия, необходимая для установления нулевой разности температур между исследуемым образцом и стандартом в зависимости от температуры при нагревании с определённой скоростью. Образец и стандартное вещество нагревают по отдельности с помощью индивидуально регулируемых нагревательных элементов. Появление каких-либо тепловых эффектов в образце влечет за собой мгновенное регулирование мощности нагревателей. Это обеспечивает поддержание образца и эталонного вещества при идентичных температурах. Разность энергии, которая требуется для выполнения этого условия, записывается как ордината на самописце, а на абсциссе откладывается температура. При поглощении тепла образцом (эндотермический процесс) получают пик с минимумом ниже нулевой линии, а при выделении тепла образцом (экзотермический процесс) записывается пик с максимумом над нулевой линией. Площадь пика между кривой и нулевой линией пропорциональна изменению энтальпии (теплосодержания) образца. Параллельно с методом ДСК обычно используют и метод термогравиметрии. Термогравиметрия (ТГ) – это динамический метод непрерывного взвешивания образца в зависимости от температуры при постоянной скорости нагревания. Кривая зависимости потери массы образца от температуры получила название термогравиметрической кривой.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.1. Механические характеристики труб из ХПВХ

Результаты испытания пластиковых труб UM 1/2", GP 1/2" и NB 1/2" на изгиб представлены на рис.1. Они показали, что трубы GP 1/2" изготовлены из материала, предел прочности которого при изгибе в среднем на 6,3% больше чем материала трубы UM 1/2". При этом, трубы UM 1/2" имеют наименьшее значение коэффициента жесткости и уступают по этому показателю трубам GP 1/2" более чем на 25% (рис.2).

Как видно из результатов, представленных на рис.1 и рис.2, трубе GP 1/2" уступает и другая труба изготовленная в Польше – это труба NB 1/2" (NIBCO).

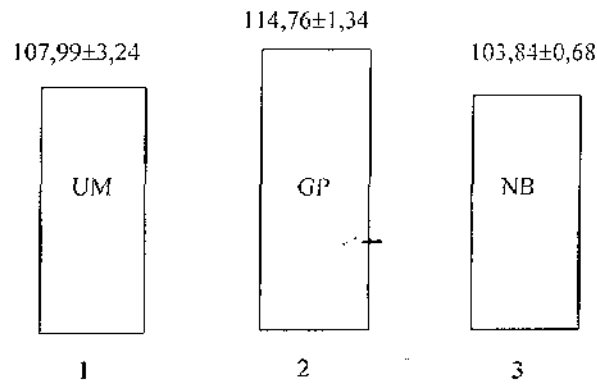


Рис.1.Пределы прочности при изгибе в МПа для пластиковых труб из ХПВХ (определены экспериментом): 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США); 3 - NB 1/2" (NIBCO - Польша)

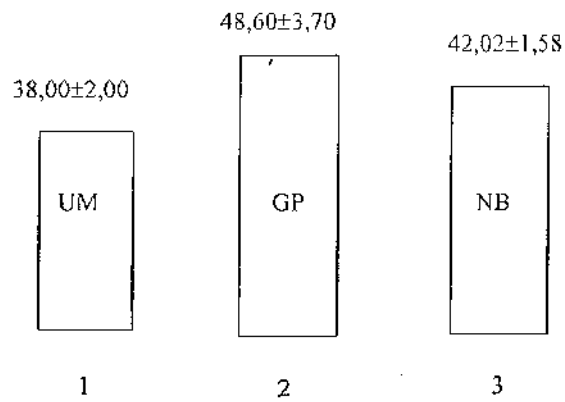


Рис. 2. Коэффициенты жесткости в кН/м для пластиковых труб из ХПВХ (определены экспериментом): 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США); 3 - NB 1/2" (NIBCO - Польша)

Влияние на механические свойства труб оказывают их геометрические характеристики. Для непосредственного сопоставления результатов исследований, это должно быть учтено.

Следует отметить, что геометрические характеристики труб УМ 1/2" несколько отличаются от характеристик труб ГР 1/2" (табл.1). Влияние этих характеристик на значения коэффициента жесткости нетрудно оценить. Как известно, коэффициент жесткости при изгибе двухопорной балки, нагруженной концентрированной силой в центре межопорного пролёта, определяется по формуле:

$$C = \frac{48EJ}{l^3},$$

где E – модуль упругости материала; l – расстояние между опорами в метрах; J – осевой момент инерции сечения трубы.

Влияние геометрических характеристик на значение коэффициента жесткости определяется, при прочих равных условиях, значением момента инерции сечения

$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4), (\text{м}^4)$$

где D – наружный диаметр трубы; d – внутренний диаметр трубы.

Для трубы УМ 1/2" $J_{\text{УМ}} = 2,010 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$, для трубы ГР 1/2" $J_{\text{ГР}} = 2,129 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$. Таким образом трубы ГР 1/2" имеют осевой момент инерции сечения J на 5,92% больше чем трубы УМ 1/2". Для сравнения результатов пересчёт среднего значения коэффициента жесткости труб УМ 1/2" на увеличенное сечение показал, что расчётное значение было бы:

$$C_{\text{УМ}} = 38,00 \cdot 1,0592 = 40,24 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Несмотря на некоторое увеличение коэффициента жесткости трубы УМ 1/2", учитывающая разницу геометрических характеристик, оно все равно значительно уступает среднему значению коэффициента жесткости трубы ГР 1/2", так как значение $C_{\text{УМ}}$ после пересчета равно $40,24 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$, а значение C для ГР 1/2" равно $48,60 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$.

На рис. 3 представлена интенсивность критической силы сжатия (в кН/м) для трех разных труб (УМ 1/2", ГР 1/2", НВ 1/2"). Из результатов видно, что прочность на сжатие труб УМ 1/2" уступает в среднем на 38,3% по этому показателю трубам ГР 1/2". Естественно на этот показатель оказывают влияние и геометрические характеристики трубы.

Напряжения, возникающие в тонкостенном кольце при симметрическом сжатии определяют по формуле [1]:

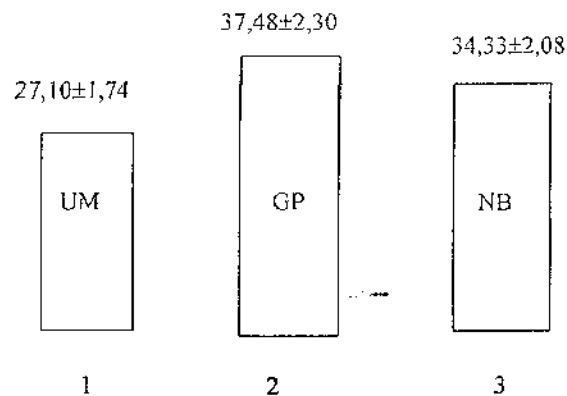


Рис.3. Интенсивность критической силы сжатия ($P_{кр}$) в кН/м для пластиковых труб из ХПВХ (определены экспериментом): 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США); 3 - NB 1/2" (NIBCO - Польша)

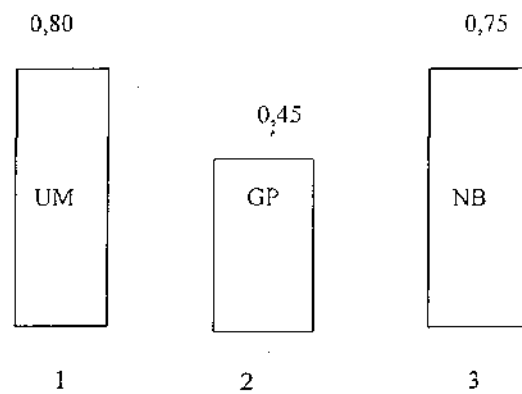


Рис.4. Вероятность хрупкого разрушения пластиковых труб из ХПВХ при ударе с интенсивностью энергии 333,3 Дж/м : 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США); 3 - NB 1/2" (NIBCO - Польша)

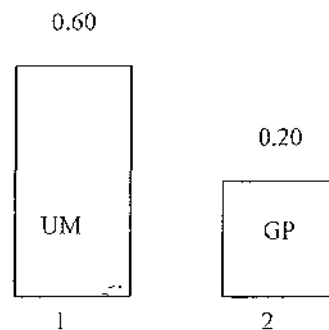


Рис.4А. Вероятность хрупкого разрушения пластиковых труб из ХПВХ при ударе с интенсивностью энергии 222,2 Дж/м : 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США).

$$\sigma = \frac{PR}{\pi W}, \text{ а силу } P = \frac{\pi W \sigma}{R},$$

где P – сжимающая сила; R – средний радиус кольца; W – осевой момент сопротивления стенки кольца.

На значение σ и критической силы сжатия, при прочих равных условиях, может оказать влияние лишь значение W – то есть геометрические характеристики сечения испытываемого образца.

$$W = \frac{bh^2}{6},$$

где $b=10^{-2}$ м; h – толщина стенки кольца в метрах. Для труб UM 1/2", $W_{UM}=0,54 \cdot 10^{-8}$ м³, для труб GP 1/2", $W_{GP}=0,60 \cdot 10^{-8}$ м³. Таким образом значение W_{GP} на 11,11% больше W_{UM} . Пересчёт интенсивности средней критической силы для труб GP 1/2", с учётом разницы характеристик сечения показал, что

$$P_{крUM} = 27,1 \cdot 1,11 = 30,11 \frac{кН}{м}.$$

Несмотря на сделанные пересчёты, все равно $P_{крGP}$ трубы GP 1/2" превышает $P_{крUM}$ трубы UM 1/2" (см. рис. 3).

Результаты представлены на рис.3 показывают, что критическая сила сжатия ($P_{кр}$) для трубы GP 1/2" превышает аналогичный показатель и трубы NB 1/2" (NIBCO, Польша).

Исследования хрупкости при ударных нагрузках при ударе с интенсивностью 333,3 и 222,2 Дж/м показали, что трубы GP 1/2" из ХПВХ отличаются меньшей хрупкостью по сравнению с трубами UM 1/2" и NB 1/2" (см. рис.4, 4А). При этом трубы GP 1/2" имеют и меньшую склонность к образованию трещин при сжатии по сравнению с трубами UM 1/2" и NB 1/2" (см. рис.9,А).

2.2. Механические характеристики труб из ПВХ.

Механические свойства труб из ПВХ определялись для изделий, предназначенных холодной воде, фирм: USMetrix (Польша) и Genova Products (США).

По показателям испытаний на изгиб и на сжатие (рис.5,6,7), незначительное предпочтение можно отдать трубам GP 1/2" против труб UM 1/2". Так предел прочности при изгибе труб GP 1/2" превышает аналогичный показатель трубы UM 1/2" почти на 7% (рис.5).

Анализируя значения опытных коэффициентов жесткости наблюдаем (хотя и незначительно) большее значение этого показателя у труб GP 1/2" (рис.6). Однако, эта разница будет более значимой если учесть разницу в геометрических характеристиках изделий и рассчитать:

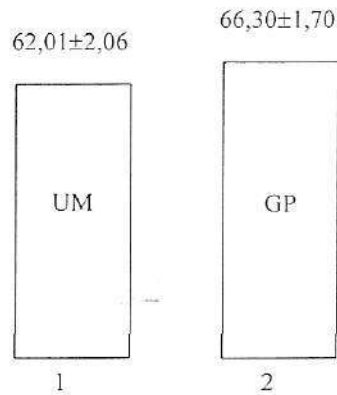


Рис.5. Пределы прочности при изгибе в МПа для пластиковых труб из ПВХ: 1 - UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США).

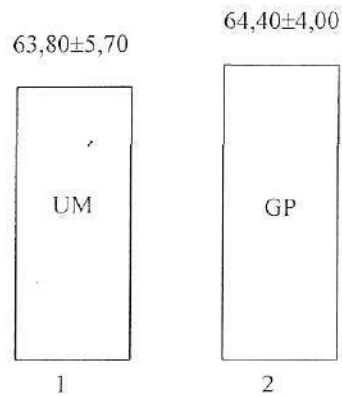


Рис.6. Коэффициенты жесткости в кН/м для пластиковых труб из ПВХ: 1 - UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США).

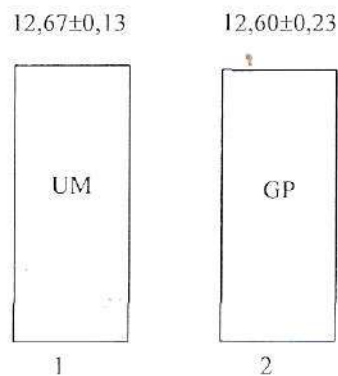


Рис.7. Интенсивность критической силы сжатия в кН/м для пластиковых труб из ПВХ: 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США).

$$J_{UM} = \frac{\pi}{64} (21,4^4 - 17,8^4) \cdot 10^{-12} = 5,367 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4 ;$$

$$J_{GP} = \frac{\pi}{64} (21,4^4 - 18,0^4) \cdot 10^{-12} = 5,142 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4 ;$$

и коэффициент пересчёта

$$K = \frac{J_{USM}}{J_{GP}} = \frac{5,367}{5,142} = 1,044 ;$$

Таким образом расчётное значение среднего коэффициента жесткости трубы GP 1/2", учитывающая случай увеличение сечения трубы до сечения трубы UM 1/2", будет:

$$C_{GP} = 64,4 \cdot 1,044 = 67,33 \frac{\text{кН}}{\text{м}} .$$

Это показывает, что фактическое значение среднего коэффициента жесткости трубы GP 1/2" превышает аналогичный показатель трубы UM 1/2" почти на 6%.

Рассматривая рис.7 можно прийти к выводу, что показатели испытаний на сжатие для труб UM 1/2" и GP 1/2" аналогичны. Однако учёт геометрических параметров и пересчёт значения $P_{кр}$ показывает, что материал трубы GP 1/2" является более качественным, чем трубы UM 1/2". Покажем эти пересчёты:

$$W_{UM} = 0,54 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 ; \quad W_{GP} = 0,48 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 ; \quad k = 1,125 ;$$

$$P_{крGP} = 12,6 \cdot 1,125 = 14,17 \frac{\text{кН}}{\text{м}} .$$

Следовательно, можно делать вывод, что материал ПВХ, применяемый для изготовления труб Genova Products, является более устойчивым (примерно на 12%) к сжатию по сравнению с материалом ПВХ труб USMetrix.

Испытания обеих труб из ПВХ (UM 1/2" и GP 1/2") на стойкость к ударным нагрузкам при ударе с интенсивностью 333,3 Дж/м, показали, что они довольно устойчивы, так как вероятность хрупкого разрушения равна нулю (см. рис.8). Также вероятность появления трещин при сжатии для обеих труб, как для UM 1/2" как и GP 1/2" равна нулю (рис.9,Б).

2.3 Термический анализ материалов труб методом ДСК и ТГ

Судя по рис. 10 и 11, на которых представлены результаты дифференциальной сканирующей калориметрии материалов труб ХПВХ в среде азота, существенных структурных отличий материалов труб UM 1/2" и GP 1/2" не наблюдается. Здесь можно отметить лишь незначительно бóльшую термостойкость материала трубы GP 1/2", так как этот материал при

| | |
|-------|-------|
| UM | GP |
| 0 | 0 |
| ----- | ----- |
| 1 | 2 |

Рис.8. Вероятность хрупкого разрушения пластиковых труб из ПВХ при ударе с интенсивностью 333,3 Дж/м: 1-UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США);

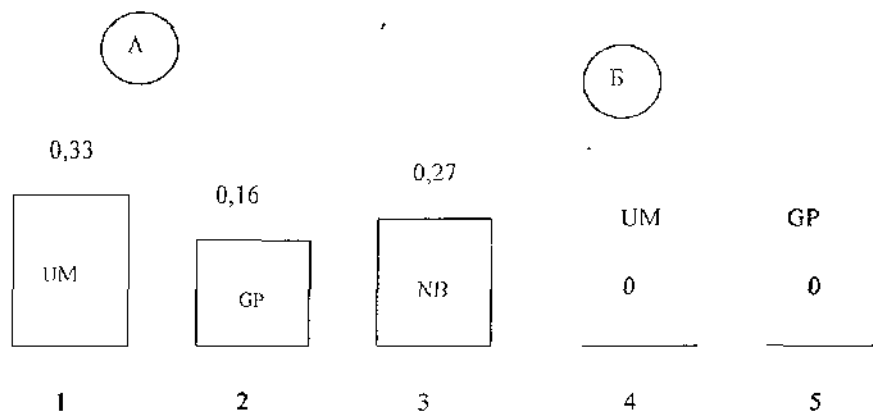


Рис.9. Вероятность появления трещин при сжатии для пластиковых труб из ХПВХ (А – 1,2,3,) и ПВХ (Б – 4,5): 1 - UM 1/2" (USMetrix - Польша); 2 - GP 1/2"(Genova Products - США); 3 - NB 1/2" (NIBCO - Польша); 4 - UM 1/2" (USMetrix - Польша); 5 - GP 1/2"(Genova Products - США);

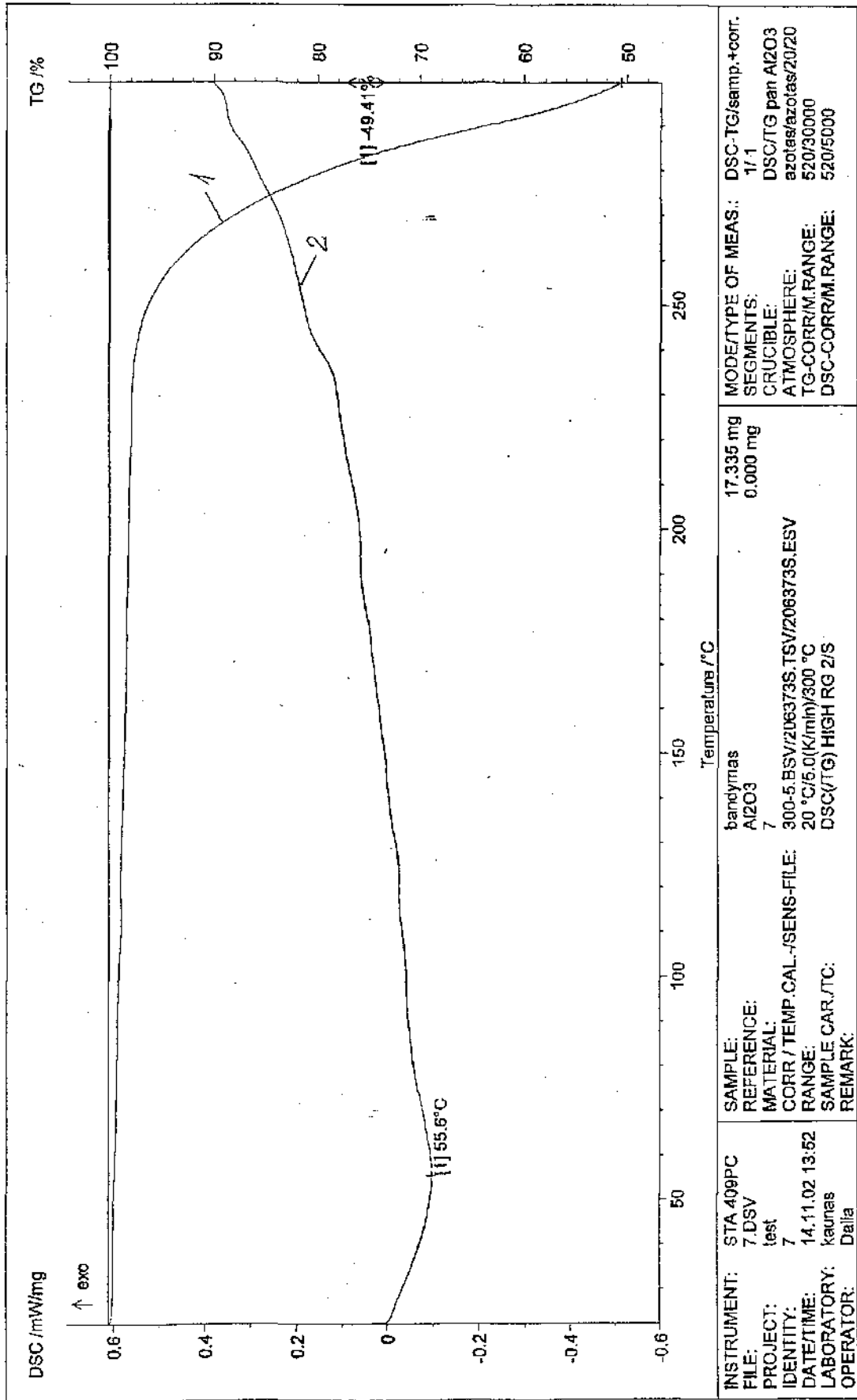


Рис.10. Результаты ДСК и ТГ материала трубы из ХПВХ (USMetrix): 1 – термогравиметрическая кривая (ТГ); 2 – кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

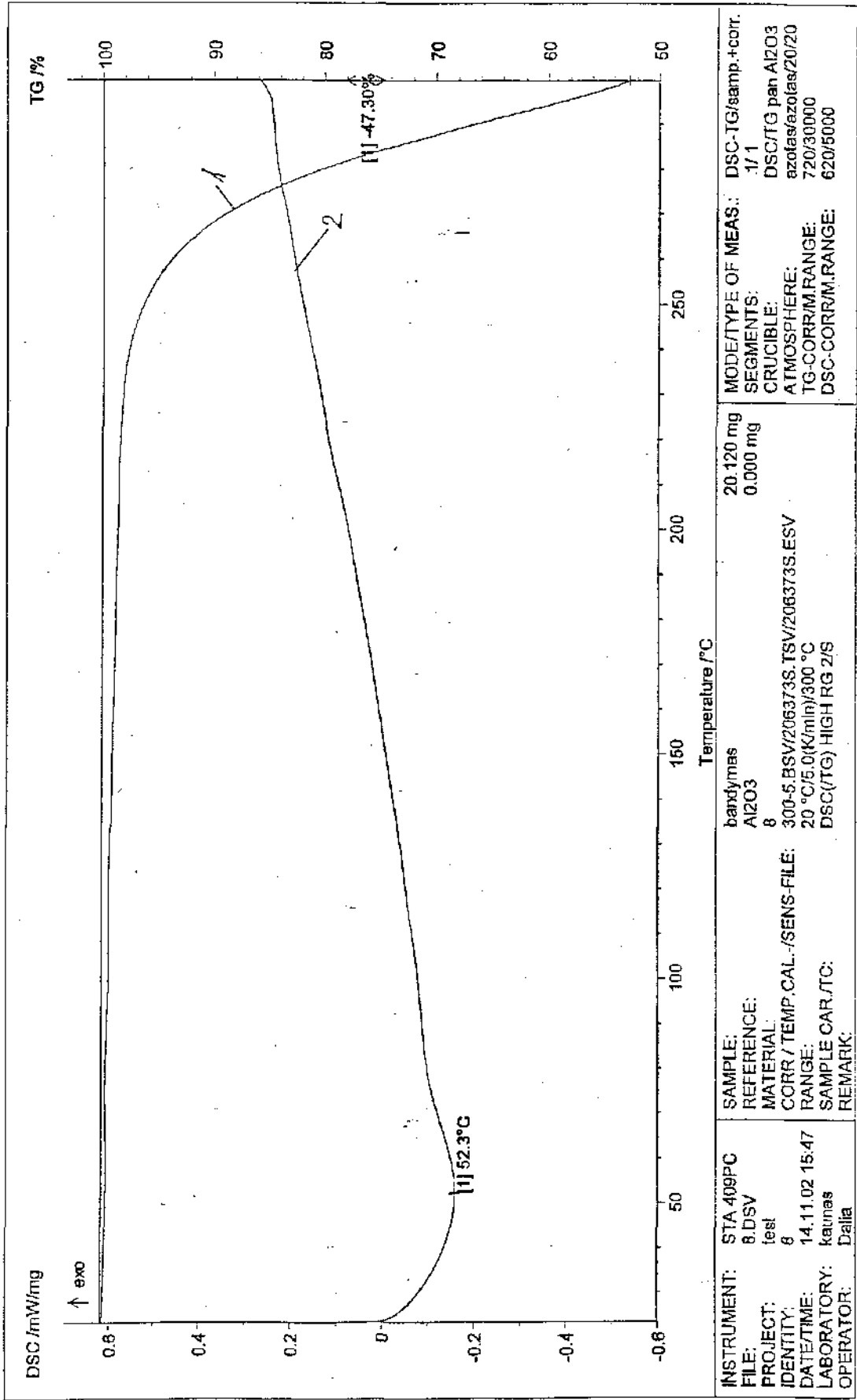


Рис.1.1. Результаты ДСК и ТГ материала трубы из ХПВХ (Genova Products): 1 – термогравиметрическая кривая (ТГ); 2 – кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

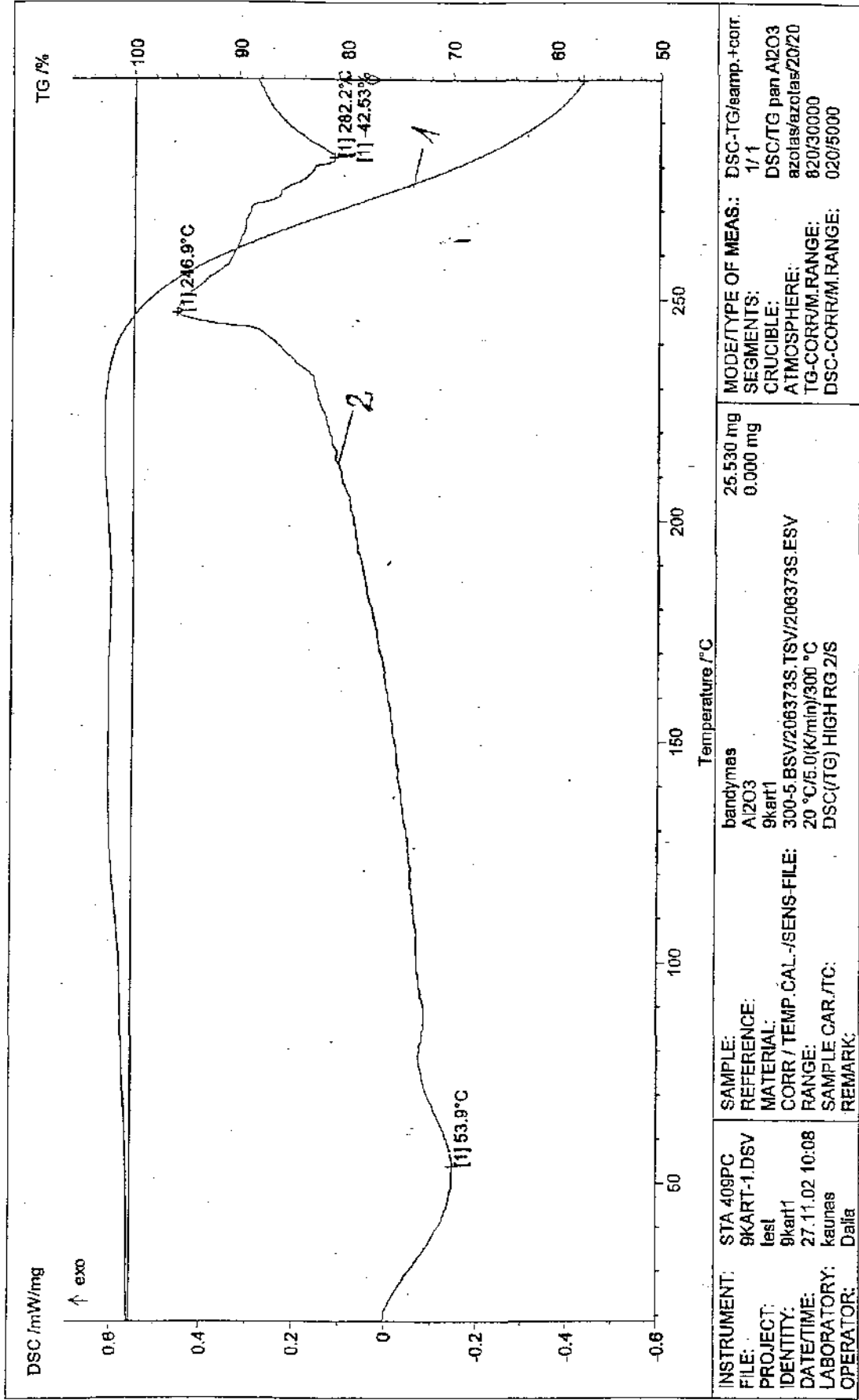


Рис.12. Результаты ДСК и ТГ материала трубы из ПВХ (USMetrix): 1 – термогравиметрическая кривая (ТГ); 2 – кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

NETZSCH-Gerätebau GmbH Thermal Analysis

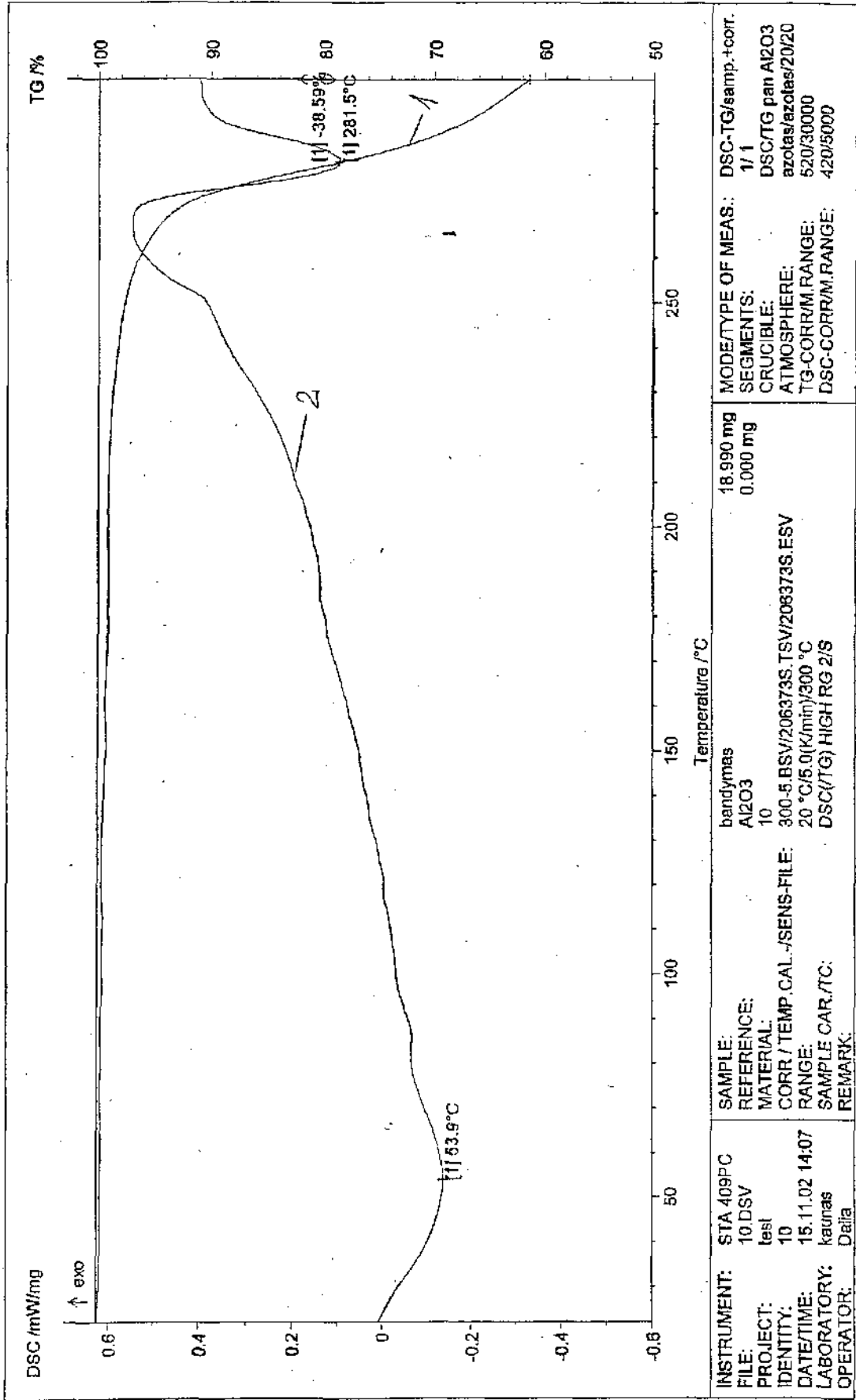


Рис.13. Результаты ДСК и ТГ материала трубы из ПВХ (Genova Products): 1 – термогравиметрическая кривая; (ТГ); 2 – кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

300°С теряет 47,30% первоначальной своей массы, а материал трубы UM 1/2" при этом теряет 49,41% начальной массы.

Испытание материалов ПВХ труб UM 1/2" и GP 1/2" методом ДСК (см. рис.12, 13) в среде азота показало, что материал трубы типа GP 1/2" более термостойкий, чем материал трубы UM 1/2". Так при 300°С материал трубы GP 1/2" теряет 38,59% начальной массы, а материал трубы UM 1/2" в тех же условиях теряет 42,53% массы. Необходимо также отметить, что масса образца трубы UM 1/2" при нагреве в среде азота увеличивается вплоть до 240°С. Это свидетельствует о взаимодействии материала трубы с азотом, который является, как известно, довольно инертным газом. Это явление подтверждено многоразовыми опытами. Здесь следует отметить, что материал трубы UM 1/2", по всей вероятности, более интенсивно может реагировать с более активными агентами реальной среды (воздуха, воды, других жидкостей). Поэтому как долговечность, так и гигиеничность труб USMetrix (Польша) вызывают определенные опасения. При этом в материале трубы USMetrix при более низких значениях температуры (~240°С) чем в материале трубы GP 1/2" (~270°С) проявляется экзотермический процесс, что может быть связано с началом деструкции структуры; которая обычно определяет и стабильность самого материала. Следовательно материал ПВХ, из которого изготовлены трубы Genova Products, является более устойчивым по сравнению с материалом ПВХ, который применяется для изготовления труб USMetrix.

3. ВЫВОДЫ

3.1 Для труб из ХПВХ

- 3.1.1. Из результатов исследования механических свойств труб из ХПВХ USMetrix (Польша), NIBCO (Польша) и Genova Products (США) видно, что явное преимущество перед другими трубами имеют трубы производства Genova Products (США).
- 3.1.2. Материал ХПВХ из которого изготавливаются трубы Genova Products является более термостойким по сравнению с материалом ХПВХ из которого изготавливаются трубы USMetrix (Польша).
- 3.1.3. Незначительная разница в геометрических характеристиках труб (UM, GP, NB) и ощутимая разница в механических характеристиках а также лучшие свойства термостойкости материала ХПВХ Genova Products доказывает, что изделия Genova Products изготовлены из более качественного и тем самым более надежного материала.

3.2. Для труб из ПВХ

- 3.2.1. Обобщая результаты исследования механических характеристик труб из ПВХ USMetrix (Польша) и Genova Products (США) можно делать вывод, что материал ПВХ, применяемый для изготовления труб Genova Products является более качественным и тем самым более надежным, по сравнению с материалом ПВХ, применяемым для труб USMetrix,
- 3.2.2. Выше представленный вывод подтверждают и результаты исследования ДСК и ТГ, доказывающие меньшую термостабильность материала ПВХ применяемого USMetrix и особенно его взаимодействие с азотом, который является, как известно, довольно инертным газом. Последний факт позволяет предполагать, что материал ПВХ USMetrix может реагировать и с более активными агентами реальной среды (напр.: с воздухом, водой, другими жидкостями), с которыми материал труб будет соприкасаться во время эксплуатации. Это естественно, может оказывать отрицательное влияние и на их гигиеничность устройств водоснабжения.

3.3. Общие выводы для труб из ХПВХ и ПВХ

- 3.3.1. Естественно, что трубы изготовленные из более качественного и устойчивого материала являются более надежными и устойчивыми и в процессе эксплуатации.
- 3.3.2. Можно предполагать, что сравнительно худшие свойства материалов, применяемых в производстве труб исследованных размеров, проявятся и в свойствах труб других размеров.

4. ЛИТЕРАТУРА

1. А.Уманский и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. – Москва: “Наука”, 1973, 496 с.

5. ПРИЛОЖЕНИЕ

5.1. Испытание труб на изгиб

Испытания проводили с использованием стандартного устройства (см. рис.1). Деформацию трубы 1 установленной на опоры 2 проводили роликом 3 ($\varnothing 40$ мм) с эластичным резиновым покрытием до сгиба ее под углом 90° . Расстояние между опорами 2 выбрано 150 мм. Изменение изгибающей силы записывалось на диаграммную ленту динамометра. Максимальную силу, возникающую при изгибе образца, использовали для определения изгибающих напряжений:

$$\sigma_{из} = \frac{Q \cdot L}{4W}, \quad (1)$$

где Q - максимальная сила изгиба; L - расстояние между опорами ($L = 0,15$ м); W - момент сопротивления сечения трубы. Из начальной части диаграммы силы изгиба также определяли коэффициент жесткости трубы (в кН/м), который по своему смыслу указывает на силу вызывающую прогиб равный единице.

Характеристики испытания на изгиб рассчитывали по результатам 6 опытов.

5.2. Испытание труб на сжатие

Для испытаний использовались образцы труб длиной 10 мм. Сжатие выполнялось стандартным устройством с записью диаграммы силы сжатия (см. рис.2). Образцы сжимались до полного соприкосновения внутренних стенок. Во время сжатия сила изменялась по графику, показанному на рис.2,с, который записывали на диаграммную ленту динамометра. Как видно из графика, сжимаемое кольцо сопротивляется как эластичное тело до достижения определенного значения силы сжатия $P_{кр}$ (критической силы) - на графике это соответствует точке излома кривой.

Далее сила сопротивления образца сжатию меняется не так интенсивно, кольцообразный образец теряет устойчивость и сплющивается.

Значение критической силы $P_{кр}$ определяет прочность образца при радиальном сжатии. Кроме того, этот эксперимент позволяет определить и стойкость труб к возникновению трещин, возникающих вследствие такой деформации. Вероятность появления трещин P_T рассчитывалась по следующей формуле:

$$P_T = \frac{n_T}{4n}, \quad (2)$$

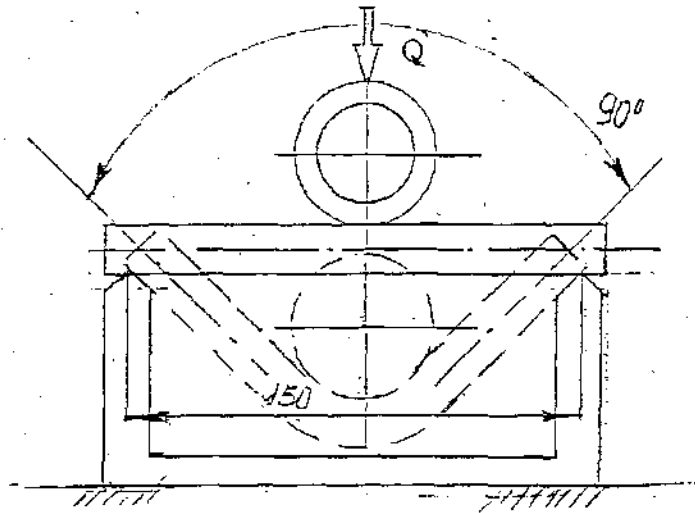


Рис.1. Устройство для испытания труб на изгиб.

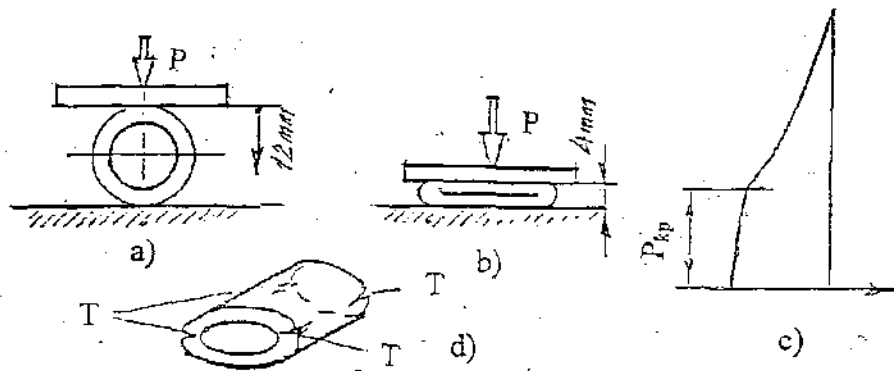


Рис.2. Схемы испытания образцов труб на сжатие: а - исходное положение элементов опыта; в - конечное положение элементов опыта; с - график изменения силы сжатия; d - образец пластиковой трубы после испытания; Г - места возможного появления трещин.

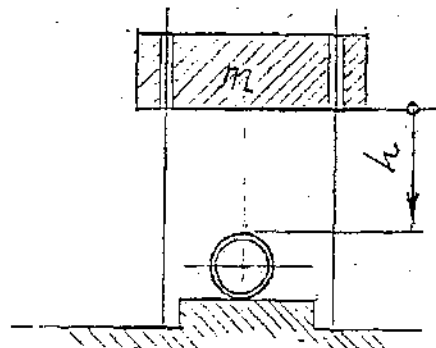


Рис.3. Схема испытания образцов на стойкость к удару.

здесь n - количество испытанных образцов; n_T - суммарное количество трещин, возникших в образцах опыта (см. рис.2,d). Результаты испытания на сжатие определялись не менее чем из 6 образцов.

5.3. Испытание труб на стойкость к ударным нагрузкам

Стойкость к ударным нагрузкам определялась воздействием образцов ударом, интенсивность которого составляла 222,2 или 333,3 Дж/м. Эти значения интенсивности были установлены экспериментальным путем многими опытами с целью определения такого значения ее, при котором образцы разных труб вели себя по-разному: либо разрушались, либо деформировались. Для эксперимента применяли образцы длиной $l=45$ мм, которые подвергались воздействию удара с энергией 9,99 или 15 Дж. Энергию удара W рассчитывали так:

$$W = m \cdot g \cdot h, \quad (3)$$

здесь m - масса падающего ударника, кг; g - ускорение силы тяжести, $9,81 \text{ м/сек}^2 \approx 10 \text{ м/сек}^2$; h - путь, пройденный ударником (высота падения), м.

В нашем случае $m=30$ кг; $h=0,033$ или $0,05$ м. Таким образом $W = 30 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/сек}^2 \cdot 0,033 \text{ м} = 9,99 \text{ Дж}$. или $W = 30 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/сек}^2 \cdot 0,05 \text{ м} = 15 \text{ Дж}$.

Схема опыта представлена на рисунке 3. Величину энергии удара можно изменять изменением хода ударника h . Интенсивность энергии удара - это энергия удара, приходящая на единицу длины образца. Для нашего случая:

$$\omega = \frac{W}{l} = \frac{9,99 \text{ Дж}}{0,045 \text{ м}} = 222,2 \frac{\text{Дж}}{\text{м}} \quad \text{или} \quad \omega = \frac{W}{l} = \frac{15 \text{ Дж}}{0,045 \text{ м}} = 333 \frac{\text{Дж}}{\text{м}}. \quad (4)$$

Одновременно эти испытания позволили устанавливать два дополнительных показателя: вероятность появления трещин (см. раздел 5.2) и вероятность хрупкого разрушения. Последняя рассчитывалась не менее чем из 10 испытаний по формуле:

$$P_x = \frac{n_x}{n}, \quad (5)$$

здесь n_x - количество хрупко разрушенных образцов; n - общее количество образцов опыта.

5.4. Методика статистической обработки результатов эксперимента

Результаты экспериментов обрабатывались статистически, определялись ниже указанные основные показатели.

1. Среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (6)$$

здесь x_i - значение показателя i - ого образца, n - количество образцов.

2. Среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (7)$$

3. Погрешность измерения:

$$\Delta = t_{\beta} \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

здесь t_{β} - критерий Стюдента, зависящий от доверительной вероятности (чаще всего 0,95) и от числа n , определяемый по таблицам (например: $t_{\beta}=2,571$ при $n=6$ и $t_{\beta}=2,365$ при $n=8$).

4. Доверительный интервал среднего значения:

$$I = \bar{X} \pm \Delta. \quad (9)$$

5. Относительная погрешность результата измерения:

$$\delta = \frac{\Delta}{\bar{X}} 100, \%. \quad (10)$$