|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii  Laboratorium Podstaw Inżynierii Materiałowej | | | | |
|  | Lp. | Imię i Nazwisko | | Udział studenta w opracowaniu sprawozdania [%] |
| 1 | KAROLINA GROSIAK | | 25% |
| 2 | ELŻBIETA WIŚNIEWSKA | | 25% |
| 3 | KACPER BORUCKI | | 25% |
| 4 | DOMINIK MICHORZEWSKI | | 25% |
| Data ćwiczenia | Wydział | | Elektryczny | |
| 18.03.2018 | Nazwa i kod kursu | | Podstawy Inżynierii Materiałowej – ELR041262L | |
| Nr grupy laboratoryjnej | | 4 | |
| Nr ćwiczenia | Temat ćwiczenia | | | Ocena i podpis prowadzącego |
| 6+7 | Badanie właściwości mechanicznych i cieplnych materiałów izolacyjnych | | |  |

# Cel i zakres ćwiczenia

Cel:

* Badanie właściwości mechanicznych materiałów izolacyjnych
* Badanie właściwości cieplnych materiałów izolacyjnych

## Zakres:

* Badanie udarności młotem Charpy’ego
* Badanie udarności mikropróbek na dynstacie
* Badanie wytrzymałości mikropróbek na zginanie statyczne
* Badanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużalności papieru
* Badanie wytrzymałości cieplnej według Martensa
* Badanie temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata
* Pomiar temperatury zapłonu oleju

# Opis sposobu wykonania ćwiczenia

## Badanie udarności młotem Charpy’ego:

Ćwiczenie przeprowadzono zgodnie z normą PN-81/C-89029.

Badanie wykonano z wykorzystaniem młota Charpy’ego. Do wykonania ćwiczenia przygotowano (wyszlifowano) dwie próbki fenolowo-formaldehydowe z mączką drewna (dodatkowo wygrzewane) oraz dwie próbki wykonane z melaniny z celulozą. Następnie sparametryzowano próbki pod kątem wysokości oraz szerokości. Kolejno sprawdzono ustawienie przyrządu (wskazówka powinna przyjąć położenie zerowe), a następnie ustawiono próbkę na podporach przyrządu. Zwolniono zaczep młota. W chwili gdy ostrze młota złamało badaną próbkę, odczytano ze skali przyrządu pracę zużytą na złamanie próbki, a następnie obliczono udarność oraz jej średnią wartość. Wykonano po 1 pomiarze dla każdej próbki. Po każdym pomiarze zerowano ustawienie przyrządu oraz przywracano je do położenia wyjściowego.

## Badanie udarności mikropróbek na dynstacie:

Ćwiczenie wykonano według normy PN-68/C-89028.

Badanie przeprowadzono na dynstacie z użyciem mikropróbek wykonanych z tekstolitu bawełniano-bakelitowego, które sparametryzowano pod względem szerokości jak i wysokości. Przed przystąpieniem do wykonania pomiarów, wyzerowano ustawienie przyrządu. Umocowano próbkę w uchwycie w pozycji pionowej a kolejno zwolniono zaczep wahadła. Po złamaniu próbki przez wahadło zakończone głowicą z ostrzem, odczytano ze skali przyrządu pracę zużytą na złamanie. Następnie obliczono udarność oraz jej średnią wartość. Wykonano 5 pomiarów. Dla każdego z nich mocowano nową próbkę i zerowano ustawienie przyrządu  
 oraz przywracano je do stanu wyjściowego.

W ten sam sposób wykonano 5 pomiarów dla mikropróbki wykonanej z płyty papierowo-fenolowej PFCP206.

## Badanie wytrzymałości mikropróbek na zginanie statyczne:

Badanie wykonano zgodnie z normą PN-72/C-04243 z wykorzystaniem dynstatu. Do ćwiczenia zastosowano mikropróbki wykonane z tekstolitu bawełniano-bakelitowego. Zmierzono szerokość i wysokość próbki. Za pomocą korbki zamieszczonej po prawej stronie przyrządu ustawiono punkt zerowy na skali tarczy ruchomej z punktem zerowym na skali tarczy nieruchomej. Następnie zamocowano mikropróbkę w uchwycie (szczęce) tarczy ruchomej oraz w szczęce wahadła. Ustawiono wskazówkę przyrządu tak aby wykazała położenie zerowe. Kolejno zwolniono wahadło. Za pomocą korbki zwiększano moment zginający, aż do zgięcia próbki. Następnie odczytano ze skali przyrządu moment zginający i zapisano jego wartość w tabeli. Obliczono wskaźnik przekroju poprzecznego próbki oraz wytrzymałość na zginanie statyczne jak i jej średnią wartość. W ten sposób wykonano 5 pomiarów dla mikropróbek.

Analogicznie wykonano 5 następnych pomiarów z tą różnicą, iż do ćwiczenia wykorzystano mikropróbki wykonane z płyty papierowo-fenolowej PFCP206.

## Badanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużalności papieru

Ćwiczenie wykonano zgodnie z normą PN-65/P-50128.

Zmierzono grubość i szerokość próbek papieru o kierunku włókien poprzecznym i podłużnym. Następnie wyzerowano wskaźniki obciążenia zrywającego i wydłużalności próbek. Gdy zrywarka była przygotowana, montowano na niej kolejne próbki papieru i uruchamiano urządzenie.

Po każdej próbie zapisywano wyniki i zerowano oraz przywracano zrywarkę do stanu wyjściowego. Wykonano po 5 pomiarów dla próbek o kierunku włókien poprzecznym  
i podłużnym.

## Badanie wytrzymałości cieplnej według Martensa

Ćwiczenie wykonano wzorując się na normie PN-90/C-89025, przyrost temperatury i ilość próbek były jednak inne, niż podane w normie.

Zmierzono grubość i szerokość próbek z żywicy fenolowo-formaldehydowej z mączką drzewną oraz melaniny z celulozą, i umieszczono je w urządzeniu ze stałym naprężeniem zginającym, uwzględniając wskaźnik przekroju poprzecznego próbek. Następnie całe urządzenie wstawiono do termostatu, zapewniając stały przyrost temperatury otoczenia próbek. Po opuszczeniu się wolnego ramienia dźwigni o 5 mm następowało zamknięcie obwodu elektrycznego, co sygnalizowało osiągnięcie temperatury ugięcia według Martensa.

## Badanie temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata

Ćwiczenie wykonano w sposób podobny do opisanego w normie PN-93/C-89024 – różnica polegała na tym, że przyrost temperatury w czasie był inny, niż normowy.

Na podstawie obudowy przyrządu do oznaczania temperatury umieszczono w położeniu poziomym próbki PCW, polietylenu RST-50W oraz polietylenu sieciowanego o grubościach mieszczących się w zakresie 3 mm – 6,5 mm.

Następnie na próbki opuszczono igły o przekroju 1mm­2 i wyregulowano urządzenie tak, aby umożliwić swobodne zagłębienie się igieł w materiały. Czujnik urządzenia wyregulowano tak, aby wydawał dźwięk przy zagłębieniu igły w materiał równym 1 mm. Następnie zamknięto komorę grzejną i uruchomiono podgrzewanie, zapewniając stały przyrost temperatury równy w przybliżeniu 95°C/h. Po usłyszeniu sygnału dla każdej próbki odnotowano temperaturę Vicata.

## Pomiar temperatury zapłonu oleju

Ćwiczenie wykonano zgodnie z normą PN-75/C-04009 za pomocą metody Martensa-Pensky’ego.

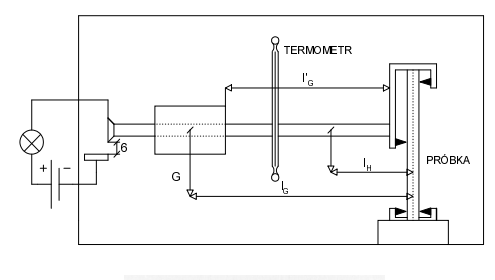
Przygotowano tygiel z olejem transformatorowym, który zaczęto jednocześnie ogrzewać i mieszać. Płomień zapalnika uregulowano, by miał około 4 mm średnicy. Próbę zapłonu wykonywano przez wprowadzenie w ciągu 0,5 s płomienia zapalnika do wnętrza tygla, pozostawienie go w środku przez 1 s i powrócenie do położenia wyjściowego. Ponieważ przewidywana temperatura zapłonu wynosiła 140 °C, pierwszą próbę wykonano w temperaturze 123 °C, następnie kolejne próby wykonywano po każdym przyroście temperatury o 3 °C.

# Spis przyrządów

* młot Charpy’ego;
* dynstat I-7-IVa-186;
* zrywarka I-7-IVa-678;
* piec I-7-IVa-2429;
* piec 019/I-7/664-1/5/855;
* stanowisko do pomiaru temperatury zapłonu oleju I-7-IVa-202

# Schematy układów pomiarowych

## Badanie wytrzymałości cieplnej według Martensa



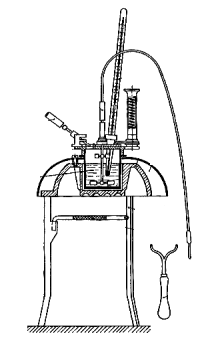
*Rys. 1. Urządzenie do pomiaru temperatury ugięcia według Martensa*

## Badanie temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1. *Poprowadzony pionowo pręt;* 2. *Płytka służąca do umieszczenia obciążników;* 3. *Podstawa obudowy, na której umieszczono próbki materiałów;* 4. *Igła w kształcie walca o długości 3m mm, o przekroju poprzecznym 1mm2;* 5. *Czujnik o działce elementarnej 0,5 mm;* 6. *Obciążniki.* |

*Rys. 2. Urządzenie do oznaczania temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata*

## Pomiar temperatury zapłonu oleju



*Rys. 3. Aparat Martensa – Pensky’ego*

# Warunki środowiskowe

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Warunki środowiskowe | Temperatura [°C] | Wilgotność [%] | Ciśnienie [hPa] |
| 23 | 32 | 1000 |

# Wyniki pomiarów

## Badanie udarności młotem Charpy’ego:



***b*** *– szerokość próbki,* ***h*** *– wysokość próbki,* ***A*** *– praca zużyta na złamanie próbki, odczytana z przyrządu,* ***U*** *- udarność*

## Badanie udarności mikropróbek na dynstacie:



***b*** *– szerokość próbki,* ***h*** *– wysokość próbki,* ***A*** *– praca zużyta na złamanie próbki, odczytana z przyrządu,* ***U*** *- udarność*

## Badanie wytrzymałości mikropróbek na zginanie statyczne



***b*** *– szerokość próbki,* ***h*** *– grubość próbki,* ***W*** *– wskaźnik przekroju poprzecznego dla próbki o przekroju prostokątnym,* ***M*** *– moment zginający, odczytany z przyrządu,* ***σ*** *– wytrzymałość na zginanie statyczne*

## Badanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużalności papieru

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kierunek włókien** | **Geometria próbek** | | **P** **[kG]** | **Pśr** **[kG]** | **Rśr** **[kG/mm2]** | **ε** **[%]** | **εśr** **[%]** |
| d [mm] | b [mm] |
| Poprzeczny | 0,13 | 15 | 6,2 | 6,74 | 3,46 | 9,6 | 8,7 |
| 0,13 | 15 | 5,6 | 9 |
| 0,13 | 15 | 7,9 | 9,2 |
| 0,13 | 15 | 7 | 8,4 |
| 0,13 | 15 | 7 | 7,4 |
| Podłużny | 0,13 | 15 | 15,1 | 15,54 | 7,97 | 3,4 | 3,6 |
| 0,13 | 15 | 15,6 | 3,4 |
| 0,13 | 15 | 14,9 | 3,8 |
| 0,13 | 15 | 15,6 | 4,2 |
| 0,13 | 15 | 16,5 | 3,2 |

***d*** *– grubość próbki;* ***b*** *– szerokość próbki;* ***P –*** *obciążenie zrywające dla danego kierunku;* ***Pśr****– średnie obciążenie zrywające;* ***Rśr****– średnia wytrzymałość na zerwanie;* ***ε*** *– przyrost długości próbki;* ***εśr****- średni przyrost długości paska*

## Badanie wytrzymałości cieplnej według Martensa

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Badanie wytrzymałości cieplnej tworzyw według Martensa** | | | | | |
| **Materiał** | **Geometria próbek** | | **W [mm3]** | **vt [°C/min]** | **t [°C]** |
| **b [mm]** | **h [mm]** |
| Żywica fenolowo-formaldehydowa z mączką drzewną | 15,4 | 9,8 | 246,5 | 3,18 | 130 |
| Melanina z celulozą | 15,1 | 9,8 | 241,7 | 180,3 |

***b*** *– grubość próbki;* ***h*** *– szerokość próbki;****W*** *– wskaźnik przekroju poprzecznego próbki;*

***vt*** *- szybkość narostu temperatury;* ***t*** *– temperatura ugięcia wg Martensa*

## Badanie temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Materiał** | ***vt***  [°C/h] | **t**  [°C] |
| PCW | 95 | 76 |
| Polietylen RST-50W | 76 |
| Polietylen sieciowany | 84 |

***vt****- szybkość narostu temperatury;* ***t*** *– temperatura mięknienia badanych próbek*

## Pomiar temperatury zapłonu oleju

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Badanie temperatury zapłonu oleju transformatorowego** | | | |
| **Rodzaj próbki** | **t [°C]** | **∆t [°C]** | **t\* [°C]** |
| Olej transformatorowy | 141 | 0,35 | 141,35 |

***t*** *– temperatura zapłonu oleju;* **∆*t*** *– poprawka do oznaczonej temperatury zapłonu oleju;*

***t\**** *- temperatura zapłonu oleju po uwzględnieniu poprawki*

# Przykładowe obliczenia

## Badanie udarności młotem Charpy’ego:

## Badanie udarności mikropróbek na dynstacie:

## Badanie wytrzymałości mikropróbek na zginanie statyczne

## Badanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużalności papieru

Średnią wytrzymałość na rozciąganie wyliczono ze wzoru , gdzie ***P***śr – średnie obciążenie zrywające dla danego typu paska, ***d*** – grubość paska, ***b*** – szerokość paska.

## Badanie wytrzymałości cieplnej według Martensa

## Badanie temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata

Nie przeprowadzano obliczeń.

## Pomiar temperatury zapłonu oleju

# Interpretacja wyników oraz wnioski

## Badanie udarności młotem Charpy’ego:

Podczas badania wykazano, że prostopadłościan z melaniny z celulozą ma większą odporność na zniszczenia udarowe niż próbka z fenolowo-formaldehydowa z mączką drzewną dodatkowo wygrzewana . Porównując wyniki naszych badań z danymi pozyskanymi ze strony www.bettenfeld.pl nasze próbki miały mniejszą wytrzymałość od materiałów zawartych w publikacjach a tej strony: tłoczywa fenylowe z wypełnieniem mączką drzewną ,czy celulozą . Są za to wytrzymalsze od tłoczywa fenylowego z wypełnieniem krótkiego włókna azbestowego . Jednym z powodów słabszej wytrzymałości naszej próbki fenolowo-formaldehydowej mógł być fakt, że była ona dodatkowo wygrzewana.

## Badanie udarności mikropróbek na dynstacie:

Badanie wykazało, że tekstolit bawełniano-bakelitowy jest znacznie wytrzymalszy na uszkodzenia udarowe od płyty papierowo-fenolowej FCP206. Wyniki porównano z tożsamymi danymi w internecie np. z wynikami na stronie [www.tekstolit.com](http://www.tekstolit.com). W tym wypadku nasze próbki miały lepszą wytrzymałość od udarności podanej na stronie od do . Warto jednak zaznaczyć, że wyniki na stronie są na podstawie metody z zastosowaniem młota Charpy’ego. Nie można ich zatem bezpośrednio porównać z naszymi.

## Badanie wytrzymałości mikropróbek na zginanie statyczne

Z badania wynika, że tekstolit bawełniano-bakelitowy jest również bardziej odporny na zginanie statyczne 150 MPa niż płyta papierowo-fenolowa 104 MPa. Porównując nasze dane z wynikami na tej samej stronie, jak przy udarności na dynstacie, nasze próbki z tekstolitu wykazały większą wytrzymałość na zginanie niż te podane na stronie: od 90 do 110 MPa. Różnice mogą wynikać z jakości materiałów jak i warunków zewnętrznych (na stronie temperatura badania wynosiła 20˚C, nasze badanie zostało wykonane przy temperaturze 23˚C).

## Badanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużalności papieru

Ze względu na duże różnice w średniej wytrzymałości na rozciąganie (odpowiednio dla papieru o poprzecznym kierunku włókien oraz dla podłużnego kierunku włókien) łatwo zauważyć, że papier o podłużnym kierunku włókien jest zdecydowanie wytrzymalszy na rozciąganie od papieru o poprzecznym kierunku włókien.

Ponadto, papier z włóknami o przekroju podłużnym wydłuża się w znacznie mniejszym stopniu (średnio 3,6% przyrostu długości) od papieru poprzecznym kierunku włókien (średnio 8,7% przyrostu długości).

W związku z powyższym można wnioskować, że na wynik badania, oprócz wybranego rodzaju papieru, duży wpływ ma także sposób, w który ukierunkowane są włókna próbek – co może zależeć m.in. od sposobu ich przygotowywania.

## Badanie wytrzymałości cieplnej według Martensa

Wyniki doświadczenia porównano z normami PN-85/C-89271 dla melaniny z celulozą oraz PN-81/C-89270 dla żywicy fenolowo-formaldehydowej z mączką drzewną. Minimalna temperatura ugięcia według Martensa wynosi odpowiednio 130 °C oraz 110 °C, co zgadza się z otrzymanymi wynikami, jednak przyrost temperatury otoczenia zgodnie z normą PN-90/C-89025 powinien wynosić około 50 °C/h, a w naszym doświadczeniu wynosił on około 200 °C/h, przez co wnętrza próbek nie mogły się odpowiednio nagrzać i wyników nie można porównywać z normami.

Porównując badane próbki można jednak zauważyć, że melanina z celulozą jest materiałem dużo bardziej odpornym na działanie termiczne od żywicy fenolowo-formaldehydowej z mączką drzewną.

## Badanie temperatury mięknienia tworzyw termoplastycznych metodą Vicata

Wyniki przeprowadzonego doświadczenia pokazują, że materiały PCW oraz polietylen RST-50W mają taką samą temperaturę mięknienia Vicata (76°C). Temperatura ta różni się jednak od temperatury Vicata polietylenu sieciowanego (84°C).

Wniosek: pierwsze dwie próbki mają niemal identyczną temperaturę mięknienia Vicata. Próbka trzecia jest od nich wytrzymalsza. Jako, że próbki 2 i 3 są różnymi odmianami polietylenu, trzeba zauważyć, że temperatura Vicata zależy nie tylko od rodzaju materiału, lecz w znaczącym stopniu także od jego struktury krystalograficznej

## Pomiar temperatury zapłonu oleju

Ponieważ doświadczenie wykonywane było przy stałym ogrzewaniu oleju o średnio 5-6 °C/min, czyli z zachowaniem warunków opisanych przez normę PN-75/C-04009, możemy porównać otrzymane wyniki z normą PN-90/C-96058 opisującą właściwości oleju transformatorowego. Według tej normy minimalna temperatura zapłonu oleju wynosi 140 °C, a podczas naszego badania wyniosła ona 141 °C. Ponieważ poprawka do oznaczonej temperatury zależna od ciśnienia otoczenia wynosiła 0,35 °C, nie zmieniła ona znacznie wyniku doświadczenia. Możemy więc wywnioskować, że badany olej spełnia wymagania normowe.