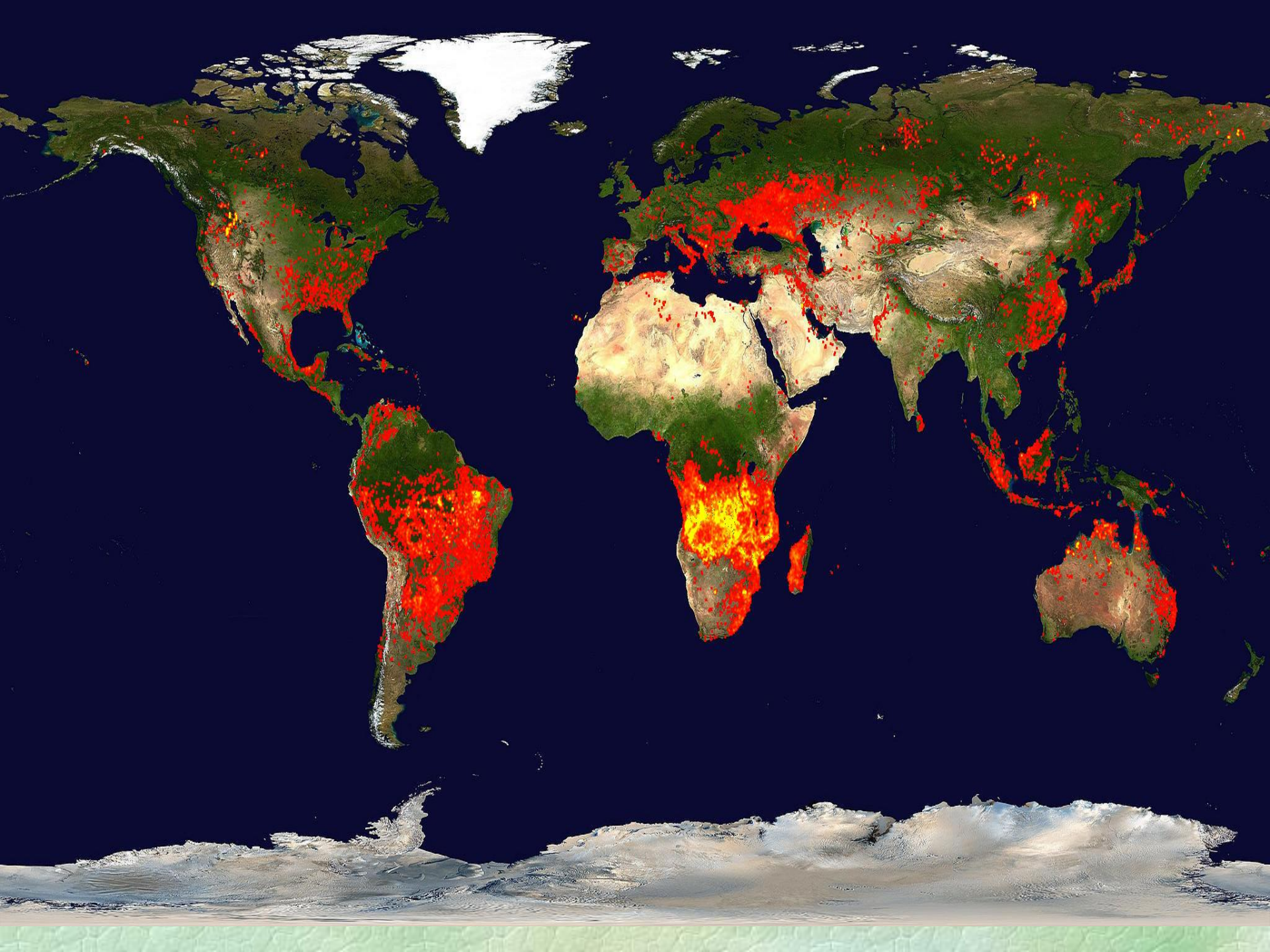


Розділ III.
РОЗВИТОК ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

Тема 9. ГОРІННЯ
ТВЕРДИХ РЕЧОВИН



Лекція 11
ЗАЙМАННЯ ТА ГОРІННЯ ТВЕРДИХ
ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ



Розподіл пожеж за об'єктами їх виникнення



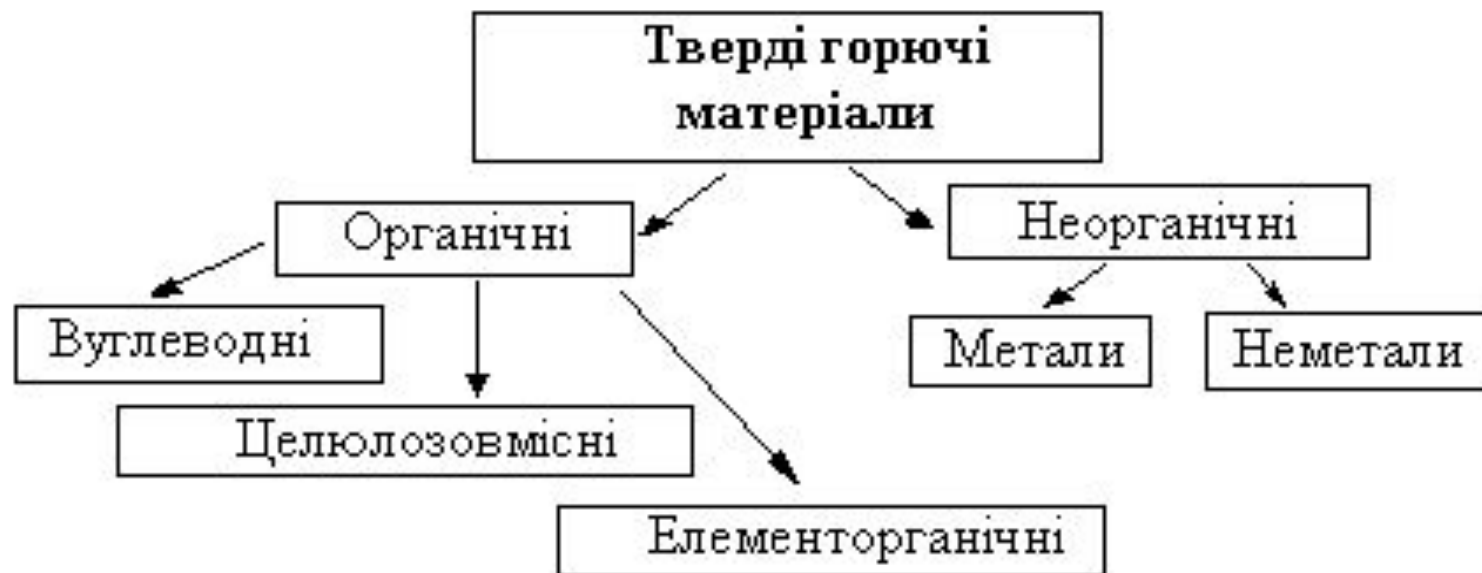
План лекції

1. Класифікація твердих горючих матеріалів.
 - 1.1. За хімічним складом
 - 1.2. За поведінкою матеріалів при нагріванні
2. Загальні закономірності горіння твердих речовин
 - 2.1. Займання твердих матеріалів
 - 2.2. Поширення горіння по поверхні ТГМ
 - 2.3. Механізм вигорання ТГМ
3. Особливості горіння полімерів і металів
 - 3.1. Загальні закономірності горіння пластмас
 - 3.2. Загальні закономірності горіння металів

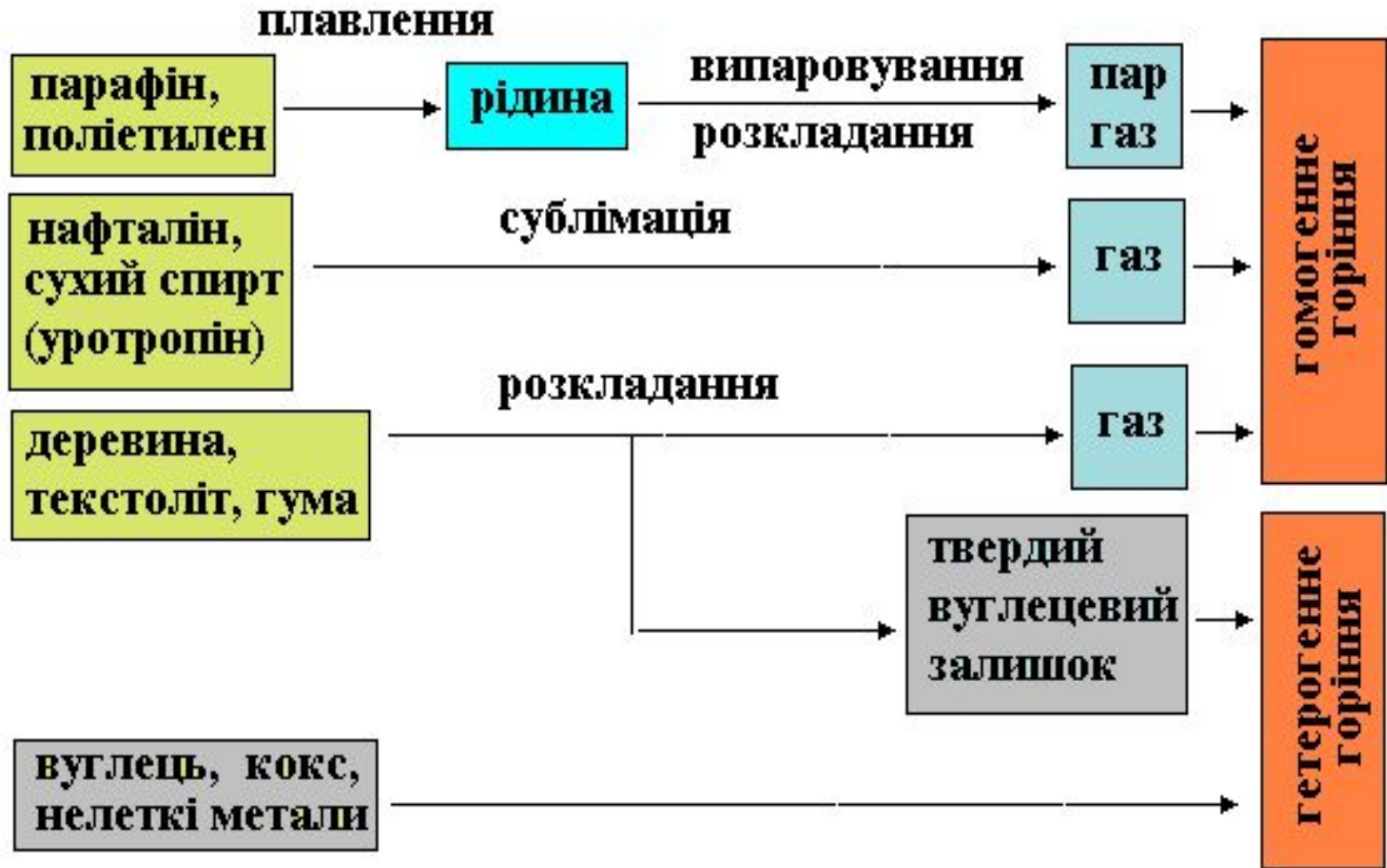
1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

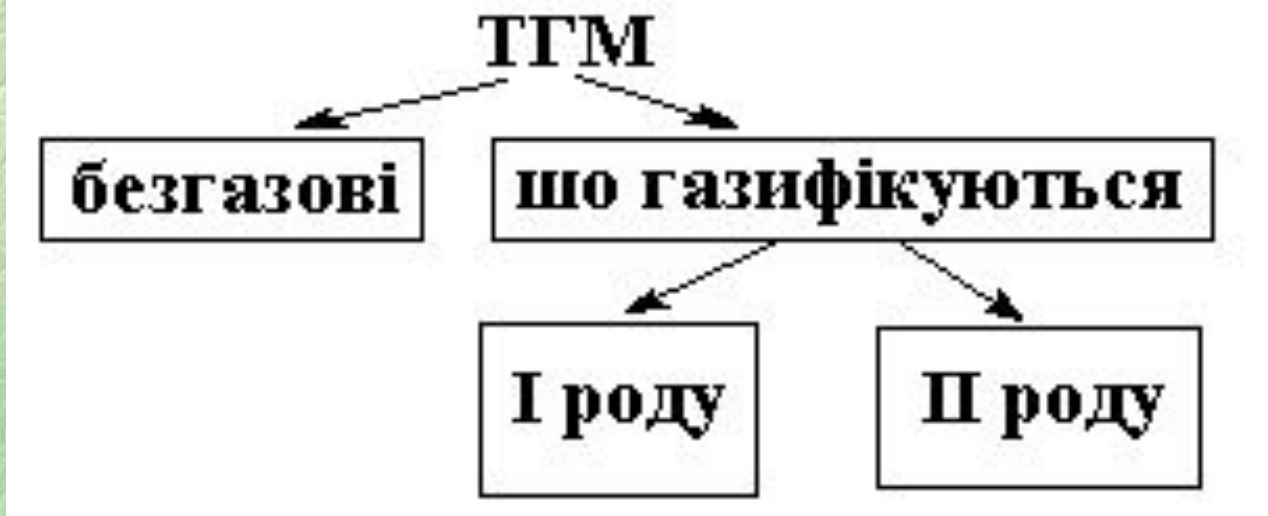
Твердими називаються матеріали, температура плавлення або розкладання яких перевищує 50°C , а також речовини, що не мають температури плавлення

1.1. За хімічним складом



1.2. За поведінкою матеріалів при нагріванні





ТГМ, які при нагріванні переходять в газоподібний стан через рідку фазу (плавляться), називаються ТГМ першого роду. Горять тільки в гомогенному режимі.

ТГМ, які при нагріванні переходять в газоподібний стан за рахунок сублімації або термічної деструкції і при цьому не переходять в рідкий стан, називаються ТГМ другого роду. Можливий як гомогенний так і гетерогенний режим горіння.

2. ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ГОРІННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН

2.1. Займання твердих матеріалів

При контакті ТГМ з джерелом запалювання виникає теплообмін і відбуваються такі процеси:

1. **Попередній нагрів** поверхневого шару до температури початку фізико-хімічних перетворень (плавлення, випаровування або розкладання).

Здатність матеріалу чинити опір нагріву без зміни хімічної структури називається **термічною стійкістю матеріалу**.

Якщо це матеріал рослинного походження, то спочатку відбувається сушка матеріалу. Для деревини і початку перетворення $110-130^{\circ}\text{C}$

2. Подальший нагрів обумовлює *протікання фізико-хімічних перетворень*, які ідуть із витратами енергії і супроводжуються зміною хімічної структури матеріалу.

Якщо це ТГМ **1-го роду**, то відбувається плавлення і перехід матеріалу в рідку фазу, потім нагрів розплаву до температури кипіння або розкладання.

Якщо це матеріал **2-го роду** - починається процес сублімації або розкладання (піроліз) з виділенням летючих продуктів та утворенням твердого вуглецевого залишку.

Для деревини процес піролізу з виділенням основної маси горючих газів (H_2 , CH_4 , CO , C_2H_4) відбувається при $t = 250\text{-}450^\circ\text{C}$.

3. *Утворення горючої газо-пароповітряної суміші* з концентрацією ГР більше, ніж ϕ_n .
 4. *Займання газоповітряної суміші.* Встановлюється *полум'яне горіння*.
 5. При горінні ТГМ 2-го роду за $t > 300^\circ\text{C}$ на поверхні *утворюється вуглецевий залишок*, який не горить, через те що кисень витрачається в зоні полум'яного горіння і не може дифундувати до поверхні вуглецю.
- Вуглецевий залишок за рахунок малої теплопровідності служить захистом внутрішніх шарів матеріалу від термічного впливу полум'я, отже процес розкладання і утворення горючих газів в нижніх шарах ТГМ уповільнюється.

6. При $t = 500-600^{\circ}\text{C}$ різко скорочується вихід летючих продуктів. При зменшенні концентрації газоподібних продуктів нижче НКМПП, полум'яне горіння припиняється. ***Завершується фаза гомогенного горіння.***

7. Після припинення полум'яного горіння відкривається доступ кисню повітря до твердого вуглецевого залишку, нагрітого до 600°C . Починається ***гетерогенне горіння вуглецевого шару***, температура зростає до $750-850^{\circ}\text{C}$.

Процес вигорання вуглецевого залишку називається ***перевугленням***.

2.2. Поширення горіння по поверхні ТГМ

Поширення горіння протікає за рахунок передачі тепла від полум'я теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням до холодних ділянок матеріалу.

Прогрівання поверхні ділянки ТГМ, яка розташована перед фронтом полум'я, призводить до розкладання матеріалу, утворення летючих горючих продуктів, утворення суміші з повітрям.

При досягненні концентрації горючих компонентів рівної ϕ_n відбувається займання суміші від полум'я і поширення горіння в кінетичному режимі.

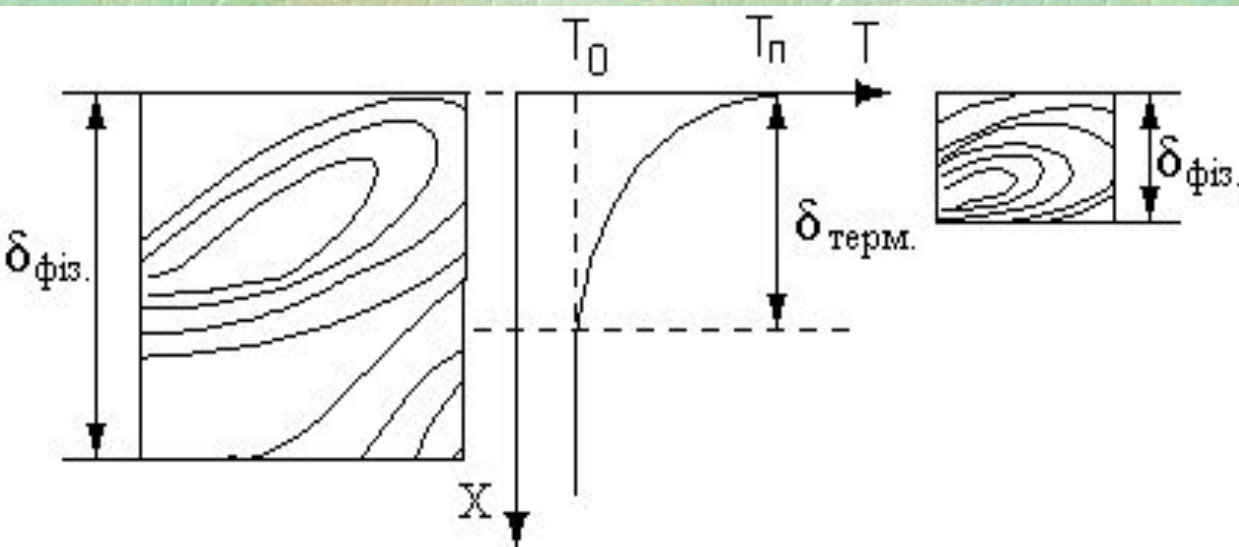
Лінійна швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ V_ℓ залежить не тільки від виду ТГМ, але і від умов горіння.

Фактори, що впливають на швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ :

- природа матеріалу (швидкість газифікації та утворення летючих продуктів) $\mu \uparrow V_\ell \downarrow$;
- вогкість матеріалу $W \uparrow V_\ell \downarrow$;
- орієнтація зразка в просторі $\alpha \rightarrow 90^\circ V_\ell \uparrow$;
- початкова температура матеріалу $T_{\text{поч}} \uparrow V_\ell \uparrow$;
- швидкість і напрям повітряних потоків;
- геометричні розміри зразка (форма, ступінь подрібнення).

Залежно від співвідношення фізичної і термічної товщини ТГМ розрізняють термічно товсті і термічно тонкі зразки. Під *термічною* розуміють товщину прогрітого шару ТГМ до моменту поширення горіння на цю ділянку.

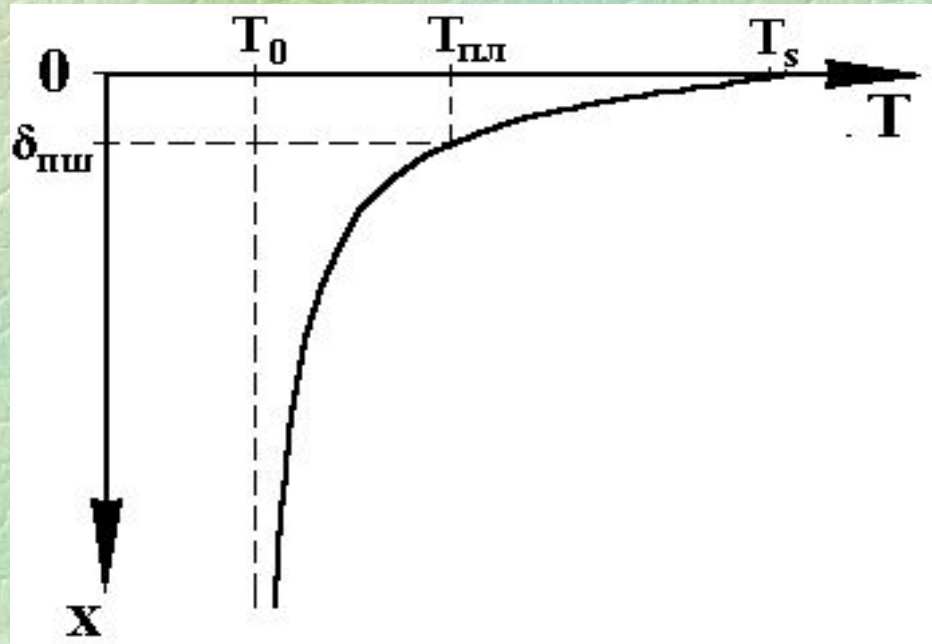
Якщо фізична товщина більша термічної ($h_{\text{фіз}} > h_{\text{терм}}$), то зразок називається *термічно товстим*, якщо менша ($h_{\text{фіз}} < h_{\text{терм}}$) - *термічно тонким*.



2.3. Механізм вигорання ТГМ

Вигорання ТГМ носить дифузійний характер.

У разі ТГМ 1-го роду газифікація твердої фази протікає у вузькому поверхневому шарі без утворення вуглецевого залишку, вигорання йде з постійною швидкістю. У твердій фазі встановлюється поле температур 1-го роду, яке в процесі вигорання не змінюється.

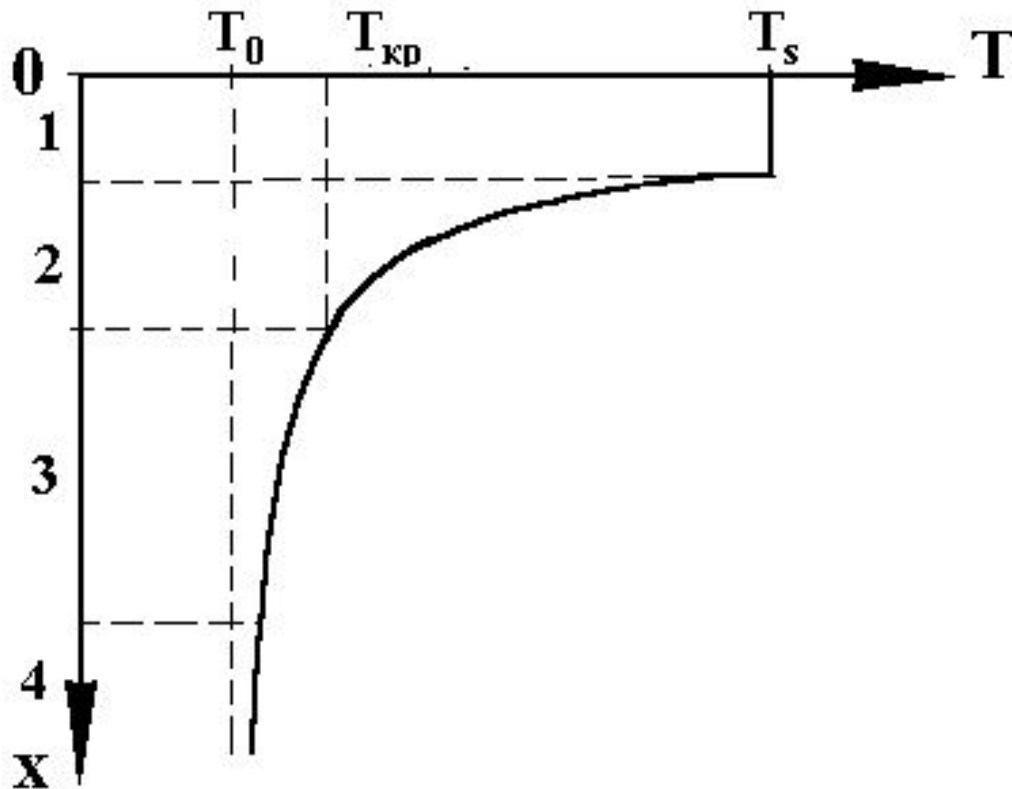


При горінні ТГМ 2-го роду вигорання летючих сполук супроводжується утворенням вуглецевого залишку на поверхні горіння.

Розподіл температури вглиб матеріалу для ТГМ 2-го роду має вигляд:

1. Вуглецевий шар

2.



(виділення летючих во- залишку);

ГО

матеріал

В процесі вигоряння для деяких ТГМ 2-го роду, які при нагріванні утворюють вуглецевий залишок, можливе виникнення особливого режиму горіння – тління.

Тління – безполум'яне горіння дисперсних, волокнистих або пористих матеріалів без видимого світлового випромінювання.

Хоча при тлінні відбувається розкладання матеріалу з утворенням горючих газів, але горить твердий вуглецевий залишок в гетерогенному режимі.

Особливості процесу тління

1. Гомогенне горіння відсутнє незважаючи на утворення горючих газоподібних продуктів розкладання.

При тлінні в товщі матеріалу для їх займання не вистачає кисню, що знаходиться в порах речовини, а при тлінні на поверхні ТГМ полум'я не виникає через те, що концентрація газоподібних продуктів розкладання менша, ніж НКМПП.

2. Газоподібні продукти термічного розкладання при тлінні є токсичними, тому при накопиченні їх в закритому об'ємі можна отримати отруєння.

3. Тління може переходити в гомогенне горіння:

- *кінетичне горіння* газоподібних продуктів піролізу, які можуть накопичуватися і створювати вибухонебезпечні концентрації (явище “зворотного спалаху”).
- *дифузійне горіння* при збільшенні швидкості надходження конвекційних потоків повітря до осередку тління.

При збільшенні ϕ_{O_2} на поверхні вуглецю збільшується швидкість горіння ω_{xp} , при цьому збільшується інтенсивність тепловиділення, швидкість розкладання, отже збільшується концентрація горючих продуктів піролізу. При досягненні концентрації цих продуктів НКМПП, тління перейде в полум'яне горіння.

3. Особливості горіння полімерів і металів

3.1. Загальні закономірності горіння пластмас.

Пластична маса - матеріал, що складається з полімерів або їх сумішей з органічними і неорганічними речовинами (наповнювачами, пластифікаторами, стабілізаторами), здатний за певних умов переходити у пластичний стан і приймати під дією навантажень певну форму із збереженням її після припинення впливу.

Полімер - високомолекулярна речовина з молекулярною масою більше за 5000 а. од., *макромолекули* якої складаються із ланцюгів (*мономерів*), що багато разів повторюються.

Всі пластмаси відносяться до ТГМ, що газифікуються, отже, якщо джерело запалювання має достатню потужність, то процес виникнення горіння протікає в гомогенному режимі внаслідок займання летючих горючих продуктів розкладання.

Якщо потужність теплового впливу недостатня, кількість газоподібних продуктів, що виділяються, буде меншою, ніж НКМПП, горіння може початися в гетерогенному режимі у вигляді тління.

Полімери, які при термічному розкладанні утворюють вуглецевий шар, горять повільніше.

Залежно від структури макромолекули пластмаси по різному ведуть себе при нагріванні. Розрізняють термопластичні (термопласти) та термореактивні (реопласти) пластмаси.

Термопласти – ТГМ 1-го роду (при нагріванні плавляться), мають лінійну структуру. При горінні на горизонтальній поверхні утворюють рідкий шар товщиною 10 - 20 мм, а на вертикальній - 1-2 мм. Горять тільки в гомогенному режимі.

Реопласти – ТГМ 2-го роду (при нагріванні не плавляться), мають розгалужену або просторову (сітчасту) структуру. При розкладанні утворюють вуглецевий залишок і газоподібні горючі продукти. Можливе як гомогенне так і гетерогенне горіння: після полум'яного вигорання летючих речовин гетерогенно горить твердий вуглецевий залишок.

Відмітні особливості горіння всіх полімерів:

- внаслідок великої молекулярної маси полімери не випаровуються, а розкладаються;
- режим горіння залежить від структури макромолекули та складу пластмас;
- велика теплотворна здатність, а, отже, і висока температура горіння;
- велика густина задимлення;
- можливість розтікання та краплепадіння при горінні термопластів;
- висока токсичність продуктів розкладання і горіння.

3.2. Загальні закономірності горіння металів

Горючими є метали, які займаються і самотійно горять на повітрі після впливу джерела запалювання середньої потужності.

Особливістю займання горючих металів є утворення на їх поверхні оксидної плівки. Характер горіння металів залежить від температури кипіння металу і температури плавлення оксиду металу.

За співвідношенням цих температур метали поділяють на дві групи:

- *летючі*, у яких $T_{\text{кип Me}} < T_{\text{пл MeO}}$
- *нелетючі*, у яких $T_{\text{кип Me}} > T_{\text{пл MeO}}$

До летючих відносяться лужні і лужноземельні метали.

Окисна плівка є пористою і не спроможна ізолювати поверхню металу від подальшого окислення і виходу пари металу на поверхню.

При піднесенні ДЗ до поверхні **Me** відбувається його нагрівання, окисна плівка залишається твердою (велика $T_{пл}$), а **Me** під окисдною плівкою плавиться і переходить в рідкий стан.

Пара **Me** дифундує крізь пористий твердий окисел у повітря. Коли концентрація пари **Me** досягне НКМПП, відбувається займання, ***встановлюється гомогенне горіння.***

Поява білого щільного диму (MeO) – характерна ознака горіння летючих **Me**.

До нелетких металів відносяться алюміній, берилій, титан та цирконій.

На поверхні нелетких Me утворюється *щільна оксидна плівка*. При тепловому впливі Me починає плавитися, однак наявність щільної плівки обумовлює низьку інтенсивність випаровування рідкого металу. Концентрація пари металу в повітрі менше, ніж НКМПП, отже полум'яне горіння не виникає.

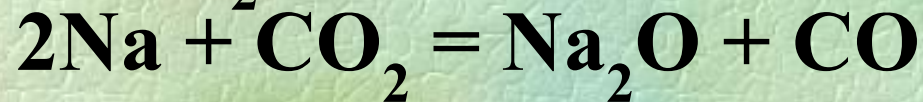
Подальший нагрів призводить до розплавлення оксидної плівки в розплаві металу, при цьому на поверхню вийде нагрітий до високої температури метал, який починає окислюватися киснем повітря на кордоні розділу фаз.

Горіння відбувається в *гетерогенному режимі*.

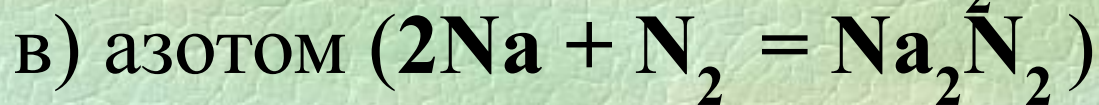
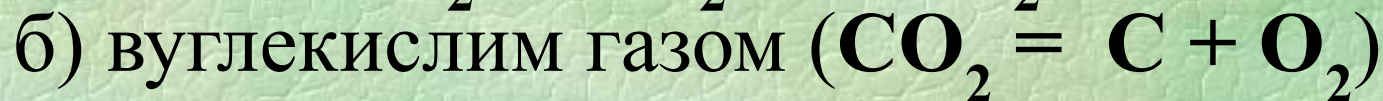
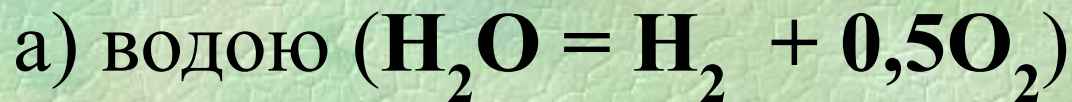
$T_{\text{горіння}}$ таких металів більша ніж їх $T_{\text{пл}}$

Особливості горіння металів:

1. Режим горіння металу залежить від природи його окисної плівки.
2. Горіння металів може відбуватися не тільки в атмосфері повітря, але і в продуктах горіння органічних речовин:



3. Температура горіння металів є дуже високою (2500-3500 К). При такій температурі відбувається розкладання багатьох речовин. У зв'язку з цим заборонено гасіння металів:



Завдання на самопідготовку:

1. Проробити літературу:

- 1.Демидов, Шандыба, Щеглов - Горение и свойства горючих веществ. Стр. 148-156;
- 2.Демидов, Саушев - Горение и свойства горючих веществ. Стр. 225-232;
- 3.Баратов, Корольченко- Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и их средства тушения. Стр. 20-21