

Лекція 3 ПРЕСУВАННЯ ЕЛЕКТРОДНИХ ЗАГОТІВЕЛЬ

3.1 Литне пресування

На переділі пресування електродних заготівель закладаються в основному усі спадкові властивості, що визначають якість готових виробів. В цілому на властивості електродних пресованих заготівель впливають чинники технологічного і конструктивного характеру, супроводжуючі процес підготовки і пресування вуглецевих мас. До технологічних чинників відносяться енергосилові умови змішування і пресування мас, температурно-швидкісний режим змішування, підготовки і пресування мас, пластичні властивості мас.

Найбільшого поширення набув спосіб гідравлічного пресування, здійснюваного витискуванням маси через мундштук у виробництві вугільних і графітованих електродів, футерувальних блоків і багатьох видів конструкційних виробів для різних галузей промисловості. Спосіб дозволяє отримати заготівлі з поперечним розміром від 30 до 1200мм і забезпечує найбільшу продуктивність процесу при досить рівномірних фізико-механічних властивостях готових виробів. Відомий традиційний спосіб виробництва заготівель в промислових умовах потребує глибшого його аналізу.

Уперше розрахунково-експериментальним шляхом інженером Ж. Гролле отримана залежність питомого тиску пресування в мундштуку у виді:

$$P' = \frac{P \cdot S \cdot k}{S'}, \quad (2.1)$$

де P' и P - тиск на масу в мундштуку і контейнері пресу, МПа;
 S и S' - переріз контейнера і мундштука відповідно, мм;
 k - досвідно-розрахунковий коефіцієнт.

Формулою (2.1) не враховується вплив контактного і внутрішнього тертя, робочої геометрії мундштука. Згідно з формулою, слід чекати деформації питомих тисків більших, ніж в контейнері пресу, що суперечить сучасним уявленням про процес деформації

Найбільший інтерес до теперішнього часу викликає робота Г.Л. Мазура по дослідженню процесу пресуванні "зелених" заготівель залежно від зміни чинників технологічного і конструктивного характеру. У цій роботі

досліджений вплив форми геометрії мундштука на зусилля пресування і щільність заготівель, а також температурно-швидкісних умов деформації на витікання матеріалу і якість поверхні заготівель (рис. 2.2).

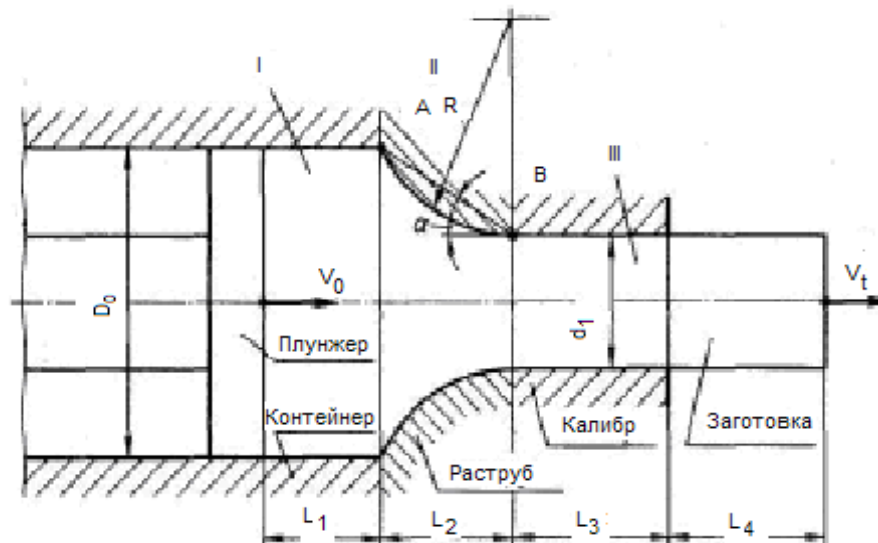


Рисунок 2.2 - Схема деформації

Виявлено, що вирівнювання температури в об'ємі заготівлі має вирішальне значення для процесу пресування. Г. Л. Мазуром показано, що пресування на мундштуках з двоякоопуклою геометрією призводить до мінімальної щільності пресованих заготівель. Найбільш оптимальною є форма геометрії формуючої зони з кутом нахилу, який утворює профіль до осі пресування близько 30° . На жаль, роботи були обмежені рамками "зеленого" переділу кінцевих фізико-механічних властивостей готових виробів.

Важливе значення має режим попередньої підпресовки мас в контейнері пресу, що впливає на якість отримуваних заготівель. Так в роботі Чалих Е.Ф. тиск підпресовування рекомендується не менше 75% зусилля пресу. Необхідність максимального зусилля підпресовування не підтверджується досвідченими даними. Слід чекати, що вибір тиску підпресовки при різній мірі анізотропії зерен наповнювача, його розміру може зробити вирішальний вплив на якість готових виробів.

Дані по дослідженню однорідності графітованих електродів із застосуванням ізотопу сірки свідчать про підвищене до 26 - 36% змісту єднального в тонкому поверхневому шарі заготівель (до 2мм). Нерівномірний розподіл єднального призводить до різнощільності по перерізу заготівель.

Вказана обставина пояснюється поверхневим оплавленням матеріалу із-за вищої температури мундштука.

Якість виробів істотно змінюється залежно від недоліку або надлишку звязуючого. Недолік звязуючого призводить до низької міцності і високої пористості, а надлишок - до викривлення, спучення заготівель, погіршення механічної міцності.

Після припинення силової дії пружна деформація в заготівлі переходить в пластичну, що супроводжується об'ємними змінами - пружною післядією.

Міра пружної післядії і зміна поперечних розмірів заготівлі залежить від складу маси і її пластичності. Пружна післядія маси з коксу однакового гранулометричного складу змінюється із зміною температури розм'якшення звязуючого.

Пружне розширення коксо-пекової маси менше пружного розширення шихти без пеку того ж складу. Причина пружної післядії, мабуть, полягає в детекстуризації анізотропних зерен наповнювача після деформації в процесі релаксації матеріалу.

Контроль величини пружної післядії матеріалу і його оцінка дозволяють оперативно управляти ходом технологічного процесу підготовки і пресування.

Під пластичністю матеріалу розуміють здатність його сприймати залишкову пластичну деформацію без порушення сплошності. Пластичність залежить головним чином від фізико-механічних властивостей матеріалу, його складу, температури, швидкості, міри деформації.

Пресування здійснюють з метою заготівель із заданими геометричними розмірами. За цим способом заздалегідь ущільнена маса завантажується в контейнери пресу і видавлюється через мундштук, проходячи через три зони деформації (рис. 2.2). У зоні ущільнення I маса набуває форми круглої заготівлі діаметром D_0 , і завдовжки L_0 .

У зоні II, що формує, відбувається зміна форми заготівлі до поперечного розміру d_1 . Остаточне формування розмірів заготівлі здійснюється в калібруючій зоні III довжиною L_3 . Формуюча зона мундштука завдовжки l_1 може мати різну форму робочої геометрії радіусом R і кутом нахилу α хорди АВ до осі пресування.

Особливість пресування вуглецевої маси полягає в тому, що об'ємна щільність маси після змішування і при пресуванні дуже різна. Зміна форми

матеріалу здійснюється переміщенням часток в нове стійке положення рівноваги із збереженням загальної маси матеріалу до R після деформації. Вирішивши умову постійності маси, отримаємо:

$$\left(\frac{D_0}{d_1}\right)^2 \cdot \frac{d_{k0}}{d_{kl}} = \frac{L_3}{L_0}, \quad (2.2)$$

де d_{k0} и d_{kl} - об'ємна щільність матеріалу на вході і виході з мундштука відповідно, г/см³.

Співвідношення в рівності (2.2) характеризують зміну геометричних розмірів тіла при деформації і мають відповідний сенс і найменування.

Відношення dk_0/dk_1 є коефіцієнтом ущільнення і характеризує зміну щільності матеріалу в процесі деформації. При існуючих режимах підпресовування зміна коефіцієнта ущільнення не перевищує 2 - 3 % і його величиною можна нехтувати.

Відношення L_1/L_0 або коефіцієнт витягу характеризує загальне подовження (витяг) заготовлі після деформації.

У загальному випадку коефіцієнти, що характеризують деформацію, можуть бути лінійними, поверхневими і об'ємними, а за своїм значенням абсолютними і відносними. Стосовно пресування вуглецевих мас найзручніше користуватися коефіцієнтом деформації витягом.

Якщо поверхня мундштука, що формує, ділиться на декілька зон з різною робочою геометрією, то сумарний витяг при пресуванні дорівнює добуток витягів в кожній зоні деформації.

З умови постійності об'ємної швидкості матеріалу на вході і виході з мундштука виходить, що швидкість витискування заготовель більше швидкості V_0 , плунжера на величину витягу.

При гідравлічному пресуванні швидкість течії часток в центрі перерізу більша, ніж на периферії. Це викликає неоднорідність деформації і напруги. Основними причинами неоднорідності деформації є: умови і величина тертя, початкова форма заготовлі і форма робочої поверхні пресінструменту, неоднорідність фізико-механічних властивостей пресованого матеріалу.

В умовах нерівномірності деформації по-різному змінюється форма окремих мікрооб'ємів тіла. В результаті цього в матеріалі виникає взаємно-урівноважуюча внутрішня напруга. І хоча схема напруженого стану носить характер усебічного стискування, в матеріалі на деяких ділянках виникає

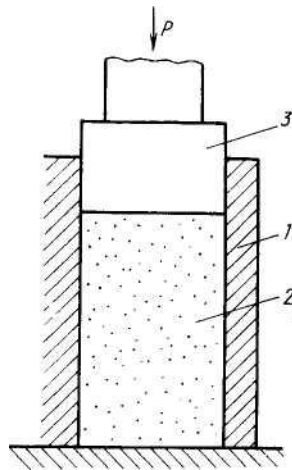
розтягуюча напруга. Це є причиною порушення сплошності пресованого матеріалу - виникнення поперечних тріщин.

Питомі тиски пресування можна визначити відомими методами, вживаними в інженерній практиці. Один з них полягає в розгляді диференціального рівняння рівноваги елементарних сил, що витрачаються на виділений елемент центру деформації спільно і рівнянням пластичності матеріалу. За іншим способом питомі тиски знаходять з рішення рівняння енергетичного балансу потужностей деформації з урахуванням втрат на контактне тертя.

З аналізу формул питомого тиску виходить, що енерговитрати на потужність змінення форми складають 20 - 30%, інша енергія йде на подолання контактних сил опору при найбільших втратах в зоні формування. Звідси витікає, що, змінюючи умови контактного тертя в зоні формування, можна регулювати тиск пресування. Витрати на подолання сил контактного опору в контейнері пресу не перевищують 15 - 20%.

2.5.2 Пресування порошкоподібних мас в пресформу

Схема і механізм пресування. Пресування порошкоподібних матеріалів засноване на їх властивостях ущільнюватися і зміцнюватися під дією зовнішнього тиску. При пресуванні зменшується відстань між частками матеріалу, зростає число взаємних контактів між ними і збільшуються поверхні контактів. В результаті цього виникають сили зчеплення між частками, що дозволяють отримувати деталі необхідної форми, щільності і певної механічної міцності. Утворення міцного блоку пояснюється дією капілярних сил зчеплення, сил зчеплення адсорбованих плівок і частково сил молекулярного тяжіння. На рис. 2.3 схемно представлено пресування в пресформу.



1 - прес-форма, 2 - порошкоподібна маса, 3 - пуансон рухливий

Рисунок 2.3 - Схема пресування в прес-форму

Маса 2 ущільнюється в результаті зусиль P , прикладених до пуансона 3. Процеси, що відбуваються при пресуванні, можна розділити на декілька стадій, структурних елементів порошку (прес-пороша), що відрізняються поведінкою. У початковій стадії ущільнення порошку, засипаного в прес-форму, рихло укладені частки переміщуються з руйнуванням "арок", "містків" і із заповненням відносно великих пор. Частки переміщуються головним чином у напрямі руху пуансона. На наступній стадії, тобто після того, як при деякому тиску структурні елементи укладені в стійкіше положення, можливість їх подальшого зміщення, що супроводжується збільшенням поверхні контактів і щільності системи, визначається вже явищами деформації. Окрім вказаних безповоротних деформацій, необхідних для ущільнення системи, виникають і пружні, тобто оборотні деформації. Пружні деформації в стискуваному об'ємі маси нарастають в особливих умовах: частки, що знаходяться під усебічним тиском, витримують підвищену напругу без руйнування; при цьому міра безповоротного ущільнення системи лімітується умовами її упаковки.

В результаті з тиском росте не лише абсолютна величина пружних деформацій часток, але і доля цих деформацій в загальному стискуванні системи.

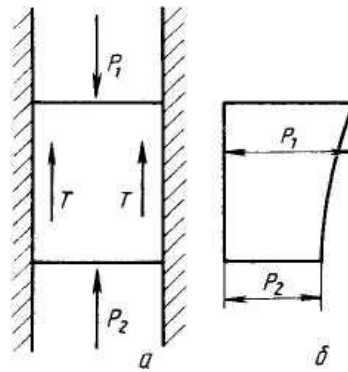
При стискуванні прес-пороша з газовою фазою (повітрям) може відбуватися наступне: витіснення частини повітря з пресувань, стискування не витисненого повітря в порах, частковий перерозподіл повітря в об'ємі пресування (оскільки вона ущільнюється не цілком рівномірно). На початку стискування порошку повітря витісняється переважно назовні і віддаляється

через проміжки між пуансоном і прес-формою. Тому великих тисків в порах не виникає. Потім у міру звуження і закриття воздухопровідних каналів в ущільнюваній системі процес витіснення повітря сповільнюється і може (особливо в тонкозернистих масах) практично припинитися. При цьому тиск повітря, що залишилося ("запресованого", або "затисненого"), сильно зростатиме у міру зменшення об'єму пор.

Після закінчення стискування, тобто у момент зняття пресуючого тиску і при виштовхуванні з форми пресування, відбувається її "пружне" (чи "зворотне") розширення, яке спрямоване переважно уздовж пресування. Основні причини розширення: пружна напруга, накопичена деформованими частками прес-пороша, і розтягуюча напруга, створена тиском запресованого повітря. Відносна роль кожної з цих причин в процесі пружного розширення змінюється залежно від характеристики мас і умов пресування. Пружне розширення є найбільшим в тонкозернистих масах; воно веде до зменшення щільності в порівнянні з тією, яка досягнута у кінці стискування.

При пресуванні порошкоподібних матеріалів ними поглинається механічна енергія, Частина цієї енергії повертається при знятті зовнішнього тиску у вигляді пружного розширення спресованої деталі. Деяка ж кількість поглиненої механічної енергії переходить в безповоротну форму і витрачається на зміну внутрішньої фізичної структури.

Розподіл тиску і щільності. Якщо взяти спресований блок, розрізати його і відібрати проби від різних ділянок, а потім визначити щільність кожної проби, то виявимо наступну картину. Як по висоті блоку, так і по перерізу щільність неоднакова: зменшується від верхнього пуансона до нижнього (нерухомого) і від периферії до центру. Із збільшенням висоти різнощільність зростає, а із збільшенням перерізу розкид значень щільності зменшується. Причиною цього є зменшення тиску внаслідок витрати зусиль на подолання зовнішнього тертя маси об стінки прес-форми. Цей чинник діє завжди в тій або іншій мірі і є основним при виникненні нерівнощільності у виробках. Розглянемо цю причину. Якщо виріб пресується одним рухливим пуансоном при другому нерухомому, то маса при пресуванні зрушується тільки в одному напрямі, а сили тертя діють в зворотному. Умови рівноваги пресування полягають в тому, що загальне пресове зусилля P_1 докладене з боку рухливого пуансона, урівноважується частково реакцією нерухомого пуансона P_2 і виникаючими зусиллями тертя T (рис. 2.4), тобто $P_1 = P_2 + T$.

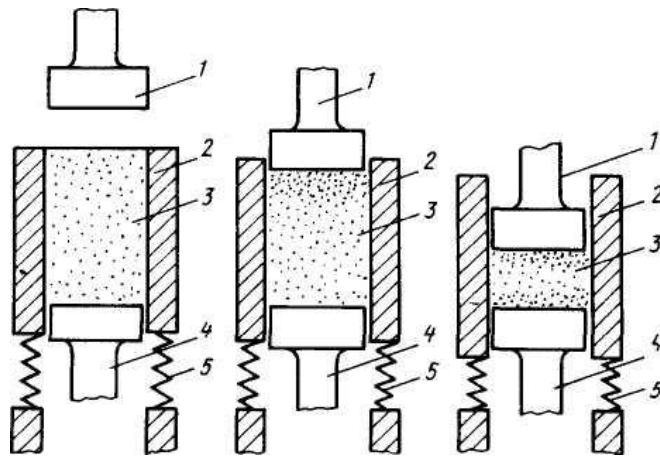


а - схема дії зовнішнього зусилля, прикладеного до пресування, б - епюра падіння пресового зусилля

Рисунок 2.4. - Падіння пресового зусилля під впливом сил тертя об стінки прес-форми

Внаслідок дії сил тертя з усієї бічної поверхні пресування величина загального зусилля поступово зменшується від P_1 до P_2 . Відповідно зменшується від шару до шару і середній питомий тиск. Нерівномірність розподілу тиску і щільності спостерігається не лише по висоті пресування, але і по її горизонтальному перерізу. Оскільки втрати тиску викликаються тертям об стінки, то вплив цього чинника в центральних частинах перерізу пресування помітно затухає. Перепади щільності виявляються найбільшими в периферійних ділянках виробу і найменшими - в центральних. Відповідно до цього найбільш ущільненою частиною пресування виявляється периферійна частина шару, прилегла до рухливого пуансона, а найслабіше спресованою - частина шару біля нерухомого пуансона.

Чинники, сприяючі вирівнюванню щільності по висоті пресування, тобто пластифікація матеріалу, двостороннє пресування та ін., чинять сприятливий вплив на рівномірність ущільнення по її горизонтальному перерізу. Нині двостороннє пресування визнають необхідним при виготовленні майже усіх виробів, за винятком порівняно тонких пластинок (наприклад, щіток), для яких перепади тиску і щільності по висоті не мають практичного значення. Широко поширеним способом двостороннього пресування є пресування із застосуванням рухливих (плаваючих) матриць. Цей спосіб (рис. 2.5) заснований на використанні сил тертя, що виникають між пресованим матеріалом і стінками прес-форми при стискуванні одним рухливим пуансоном.



а - завантаження прес-форми; б - початок зрушення; в - кінець стискування; 1 - пресуючий пуансон; 2 - рухлива прес-форма; 3 - пресована маса; 4 - нерухомий пуансон; 5 - пружини

Рисунок 2.5 - Схема двостороннього пресування з рухливою (плаваючою) прес-формою

Діючі на прес-форму сили тертя насувають її на нерухомий нижній пуансон.

Перевага цього способу - в спрощеній конструкції пресу: не потрібні два точно скоординованих пресуючих механізмів. Крім того, зміщення, рухливої прес-форми і її положення в кожен момент цілком визначається силами тертя. В результаті двостороннє ущільнення стає саморегульованим процесом, і при правильному підборі зусиль пружин, підтримуючих прес-форму, забезпечується практично однакове ущільнення з боку рухливого і нерухомого пуансона.

Температура і швидкість пресування. Умови, при яких виконується процес пресування, чинять великий вплив на властивості пресованих заготівель, а також на ефективність цієї операції.

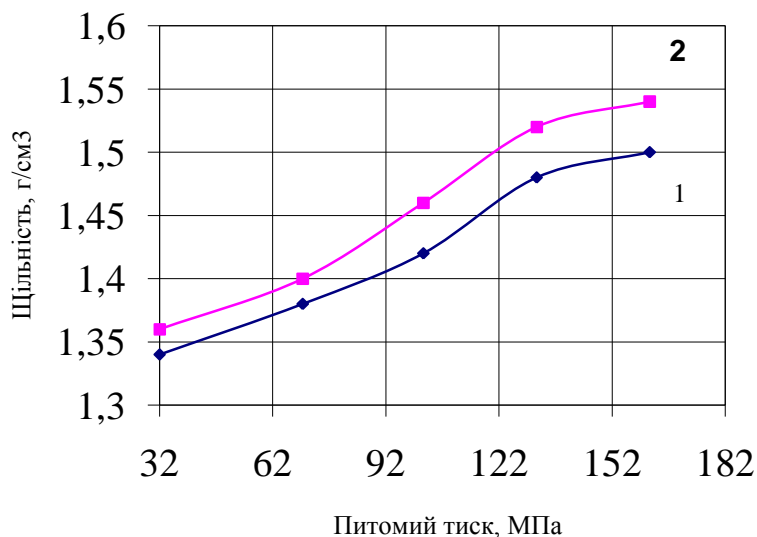
Щільність і фізико-механічні властивості виробів залежать від температури, при якій протікає процес, і швидкості пресування. Зазвичай пресування виконується при кімнатній температурі ("холодне пресування"). Проте це не оптимальний варіант, хоча дуже нескладний в практичному виконанні, чим і пояснюється його повсюдне застосування. Дослідження показали, що навіть відносно невеликі коливання температури, пов'язані із зміною пори року, чинять помітний вплив на властивості виробів. Наприклад, пресування виробу з одного і того ж прес-пороша, але при різних

температурах, які можна назвати кімнатними (10 - 25°C), показало неоднакові результати. Вироби, спресовані при 10°C, мали механічну міцність ~30,0МПа, а вироби, спресовані при 25°C, мали міцність біля 39,0МПа. З підвищенням температури пресування результати вийдуть більш різючими.

Чим вище температура, тим вище пластичні властивості прес-порошків, тим нижче їх пружні властивості і коефіцієнт тертя. Отже, можна досягти високих показників щільності при нижчих зусиллях пресування.

Вплив тривалості пресування вуглецевих мас вивчений недостатньо. Проте з практики відомо, що при пресуванні на швидко діючих пресах (наприклад, механічних) для отримання аналогічної щільності вимагається більший тиск, чим на повільно діючих. Швидкість пресування чинить вплив не лише на щільність, але і на рівномірність пресування. Оскільки процес переміщення окремих часток формованої маси протікає в часі, всяке уповільнення швидкості пресування призводить до позитивних результатів. Особливо це відноситься до тонкозернистих мас, які погано передають тиск. Тому крупнозернисті добавки полегшують передачу тиску.

Позитивний вплив на процес пресування чинить витримка при кінцевому тиску. На рис. 2.6 показана залежність щільності пресованого виробу від часу витримки при різних питомих тисках.



1 - без витримки, 2 - витримка 2 хв.

Рисунок 2.6 - Залежність щільності пресування від часу витримки при пресуванні

Експериментально доведено, що щільність збільшується при витримці до 60с, більш тривала витримка помітного ефекту не дає.

Для визначення значення витримки при кінцевому тиску А.С. Дбайливим запропоновано вираження:

$$P_t = P_0 - A \cdot \lg(B_t + 1) \quad (2.3)$$

де P_t - пористість пресування після витримки за час t , %;

P_0 - її пористість після пресування з тим же тиском, але без витримки, %;

A и B - постійні для цієї маси, безрозмірні.

Перевірка цього рівняння на деяких масах в технології вогнетривів дала задовільний збіг при величині до 10с. Вуглецеві маси поводяться аналогічно.

Пресування на багатьох промислових пресах здійснюється без істотної витримки при кінцевому тиску. Практично регульованим змінним чинником є загальна тривалість циклу, залежно від якої змінюється швидкість наростання тиску. Значення цієї швидкості аналітично не виражене, але відомо, що уповільнене стискування діє аналогічно витримці.