

57. НЕІЗОТЕРМІЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВИТЯГУВАННЯ ВОЛОКОННИХ СВІТЛОВОДІВ

Олексій Зінькевич, Володимир Сафонов

Національний університет харчових

Олександр Нецадим

*Національний університет біоресурсів і
природокористування України*

Вступ. Порівняння існуючих моделей можна виконати на основі їх особливостей в таких аспектах: реологічна модель; ізотермічність (неізотермічність); стаціонарність (нестаціонарність); врахування тих або інших сил в загальному балансі сил, діючих на витягаюче волокно; розмірність моделі; граничні умови; спосіб знаходження поля швидкостей та температур.

Методи. Рейнером запропоновано проводити систематизацію моделей в рамках класичної теорії, опираючись на основні моделі суцільного середовища: пружне тіло Гука, що є ідеально пружним тілом і розглядається в класичній теорії пружності; в'язка рідина Ньютона, що є «простою» в'язкою рідиною і розглядається класичною гідродинамікою; пластичне тіло Сен-Венана – тверде тіло, якому властива межа протікання, при напрузі нижче якої воно деформується пружно і пластично тече при постійній напрузі, що дорівнює межі протікання. Тіло Сен-Венана вивчає ідеальна пластичність. Решту «реологічних тіл» можна розглядати як комбінації цих трьох основних тіл. Наближення, що витікає з ізотермічності процесу витягування, є грубим і практично ніколи не відповідає дійсності.

Результати. Відомі неізотермічні моделі можна розділити на дві великі групи. До першої групи належать такі, в яких разом з рівнянням Нав'є-Стокса

використовується рівняння теплопровідності. Такі моделі будемо вважати повними. До другої групи належать моделі, в яких розподілення температури враховується параметрично за допомогою задання в'язкості як функції координат. Найкращих результатів в дослідженні процесу витягування було досягнуто на основі повних моделей.

Початковим етапом дослідження процесу витягування має бути аналіз стаціонарних конфігурацій волокон і відповідного поля швидкостей. У більшості випадків так і буває; нестационарні початкові рівняння використовуються, як правило, при дослідженні стійкості процесу і його реакції на всілякі обурення. Виключення складає випадок, коли нестационарні рівняння використовуються для відшукування стаціонарного рішення у рамках методу встановлення при $t \rightarrow \infty$.

У найбільш загальному випадку рівняння балансу сил при витягуванні волокон має вигляд:

$$F + F_g = F_\mu + F_{in} + F_{st} + F_a. \quad (1)$$

Тут F – сила натягу в точці прийому волокна, F_g – сила тяжіння, F_μ – складова, обумовлена в'язкими силами і залежна від реологічних властивостей розплаву, F_{in} – інерційна сила, пов'язана з прискоренням струменя рідини, F_{st} – сила поверхневого натягу, пов'язана зі зміною поверхні струменя і відповідної поверхневої енергії струменя; вона пропорційна поверхневому натягу між струменем і довкіллям, F_a – сила тертя об повітря.

Відносна важливість складових в балансі сил залежить від умов формування і властивостей розплавленого матеріалу.

Практично в усіх відомих роботах нехтують силою тертя об повітря. Нехтування всіма силами, крім F і F_μ , відповідає повільному витягуванню високов'язкого матеріалу, є хорошою моделлю даного процесу. Врахування окремих складових в рівнянні (1) і, в першу чергу F_{st} , відповідає тим чи іншим особливостям при розгляді реальних процесів. Так, наприклад, F_{st} необхідно врахувати при моделюванні процесу витягування скляних волокон. Чисто теоретичний інтерес представляє випадок, коли $F = 0$.

Практично всі існуючі моделі є одновимірними. Це обумовлено труднощами дослідження початкових рівнянь, записаних для випадку осьової симетрії, не кажучи вже про тривимірний випадок. Робилися нечисленні спроби врахування поперечної складової швидкості за допомогою представлення її у вигляді

$$V(r, z) = V(z) \cdot (1 + a_1 \cdot r + a_2 \cdot r^2 + \dots). \quad (2)$$

Дослідження виявили, що прийняття параболічного профілю швидкості (2) в межах поперечного перерізу волокна не призводить до задовільного результату при порівнянні теоретичних і експериментальних даних.

Було запропоновано розв'язання задачі формування волокон із полімерних матеріалів у вигляді накладення задач про розтягування в'язко-пружного стержня і руху, який визначається продуктивністю процесу. При цьому задача про струмінь, що витягається, розділено на дві. Це задача про розтягування в'язко-пружного стержня в умовах теплообміну з довкіллям, коли розтягуюче зусилля

стале або змінюється з часом за лінійним законом, і задача про визначення основних параметрів струменя за допомогою результату розв'язання першої задачі і заданої швидкості часток.

Постановка граничних умов визначається з врахуванням тих або інших сил, що діють на волокно, розмірністю моделі, а також похибкою апроксимацій, пов'язаних з розглядом всієї області витягування або її частини.

Найважливішими процесами деформування при формуванні волокон є: зсув в круговому каналі (течія Пуазейля) і одновісний розтяг. Перший тип течії реалізується в фільтері при витягуванні фільтерним способом, другий – по виходу із фільтера і при витягуванні із заготовки.

Усталена течія струменю є прикладом усталеного негомоторного руху, де градієнт швидкості є функцією положення і змінюється уздовж шляху течії. Це не суто поздовжня течія; зміна радіуса по її довжині призводить до появи деяких радіальних складових градієнта швидкості і не рівних нулю складових напружки зсуву. Надійна теорія такої течії для рідин з нелінійною в'язкістю не розроблена; те ж саме можна сказати і про лінійні в'язкопружні і ньютонівські рідини. Проте на випадок, коли зміна радіуса не дуже велика, течія може апроксимувати як квазіпоздовжня, а розподіл швидкості вважається плоским. Всі існуючі теоретичні рішення для вільно розтягуваних струменів ґрунтуються на цьому наближенні (про чистий розтяг), яке є більш-менш обґрунтованим залежно від того, яка із зон витягування розглядається.

Висновки. Всі дослідники відзначають, що домогтися прогресу в розумінні механізмів протікання процесу витягування, а також задовільного збігу розрахункових і експериментальних даних можна тільки в результаті двовимірного розгляду обох сторін процесу – гідродинамічної і теплотехнічної.