

## ОХЛАЖДЕНИЕ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ ВАКУУМНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Н.Л. Рябчиков,  
Д.Л. Рябчиков,  
В.В. Бобков,  
С.Д. Безбородов

Харьковский государственный университет,  
310108, Харьков, пр. Курчатова 31

Рассмотрены основные требования к охлаждаемым барабанам, на поверхности которых проводится процесс металлизации

полимерных рулонных материалов. На основе решения тепловых уравнений выработаны требования к обработке их поверхности.

В процессе вакуумной металлизации полиэтиленовой пленки должен обеспечиваться постоянный теплоотвод от обрабатываемого материала. Как правило, этот процесс производится при помощи водоохлаждаемого барабана [1], по которому движется пленка во время технологического процесса металлизации. Практика показала достаточно высокую эффективность этого метода. Однако для тонких пленок толщиной  $h = 30 \dots 50$  мкм проявляются отрицательные эффекты: перегрев пленки, коробление, плохое качество получаемой продукции. Причиной этих явлений может быть плохой теплоотвод от пленки к стенке барабана ввиду ее неплотного прилегания. Особенно актуально это явление для пленки, толщина которой сопоставима с размером микронеровностей поверхности барабана. Даже если деформировать пленку до предела текучести  $\sigma = 10 \dots 12$  МПа (выше нельзя — пойдут необратимые изменения в материале) деформация пленки по толщине составит  $\varepsilon = 0,013 \dots 0,015$ , что при толщине пленки 30 мкм даст 0,3...0,4 мкм, это может компенсировать только очень точная обработка поверхности барабана. На практике даже такую величину деформации пленки по толщине достичь нельзя, так как она может быть вызвана только продольными силами натяжения пленки на барабан. В этом случае поперечное давление пленки на барабан связано с растягивающим напряжением  $p = 2\sigma h / D$ , где  $D$  — диаметр барабана,  $h$  — толщина пленки [2].

В связи с этим реальная деформация пленки по толщине еще на несколько порядков выше указанной и компенсировать ею шероховатость поверхности барабана даже при очень точной обработке практически невозможно.

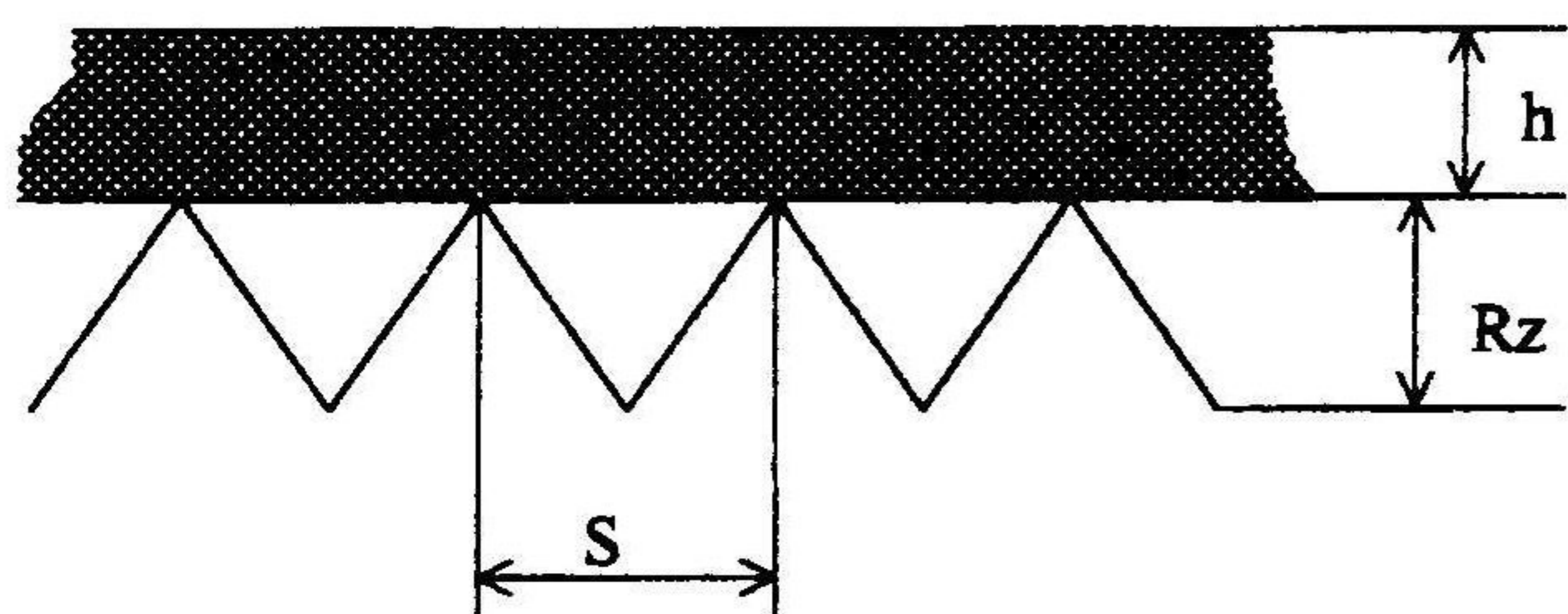


Рис. 1 Положение пленки на шероховатой поверхности барабана.

Положение тонкой полиэтиленовой пленки на барабане с шероховатостью  $R_z$  представлено на рис. 1, где  $R_z$  — средняя высота микронеровностей,  $S$  — средний шаг микронеровностей. Оба параметра согласно существующих стандартов могут задаваться в качестве требований для обработки поверхности, хотя на практике используется, как правило, только первый из них. Как мы убедились, даже очень малая высота  $R_z$  не обеспечит плотного прилегания пленки по всей поверхности и, соответственно, хороший теплоотвод, особенно в условиях вакуума.

Попытаемся исследовать влияние второго фактора — среднего шага микронеровностей на качество теплоотвода.

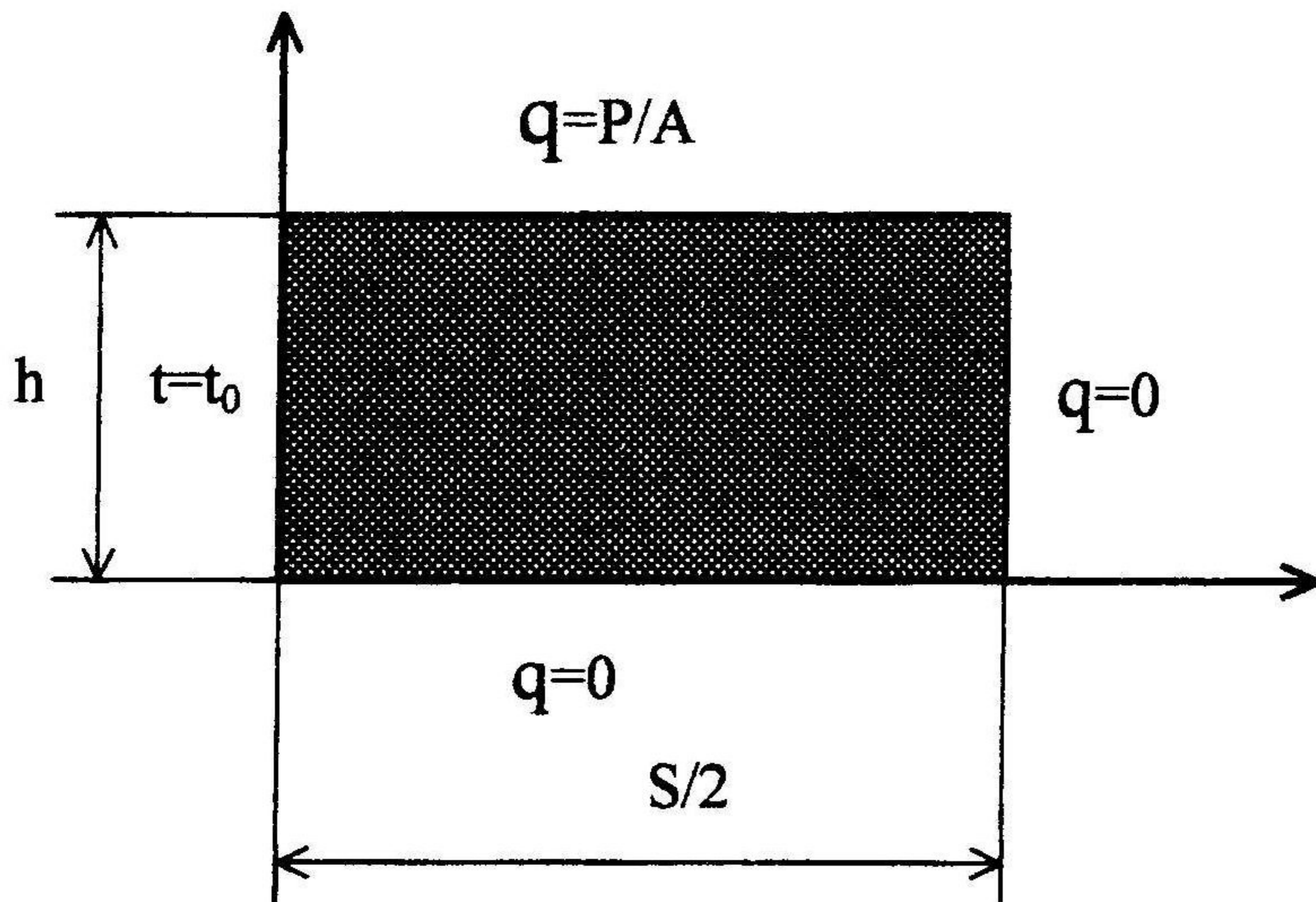


Рис.2. Расчетная модель элемента пленки

Видя малую толщину пленки будем считать температуру по левому сечению постоянной и равной температуре барабана и охлаждающей жидкости, что справедливо при малых значениях отношения толщины пленки к толщине стенки барабана [3]. Теплопередача по правому сечению ввиду симметрии задачи равна нулю. Нижняя поверхность рассматриваемого прямоугольника находится в условиях вакуума между неровностями и также имеет нулевую теплоотдачу. На верхнюю поверхность пленки падает тепловой поток  $q = P/S$ , где  $P$  — мощность излучения,  $S$  — площадь поверхности, принимающая это излучение.

Пленка находится в зоне металлизации несколько секунд и за это время успевает полностью прогреться, т.к. толщина пленки очень мала и даже с учетом малой теплопроводности полиэтилена  $\lambda = 0,33...0,45 \text{ Вт/мЧК}$  весь тепловой поток может пройти через нее за доли секунды. На основании этого рассматриваем стационарную задачу теплопроводности

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

при краевых условиях: при  $x = 0, t = t_0$ ; при  $x = S/2, \partial t / \partial x = 0$ ; при  $y = 0, \partial t / \partial y = 0$ ; при  $y = h, \partial t / \partial y = -q / \lambda$ .

Решение задачи будем искать в виде

$$t = t_0 + uv,$$

где  $u$  — функция, зависящая только от  $x$ ,  $v$  — функция, зависящая только от  $y$ .

В предложенной постановке уравнение (1) можно решать методом разделения переменных, решение получается в виде

$$t = t_0 + (\sin kx + \cos kx)(C_1 \exp(ky) + C_2 \exp(-ky)).$$

Учет краевых условий дает зависимость

$$t = t_0 + \frac{q \cdot S}{2\lambda} \cdot \frac{\left( \exp \frac{\pi y}{S} + \exp \left( -\frac{\pi y}{S} \right) \right)}{\left( \exp \pi \xi + \exp \left( -\pi \xi \right) \right)} \cdot \sin \frac{\pi x}{S}$$

где  $\xi = h / S$  — отношение толщины пленки к среднему шагу микронеровностей.

Наибольшая температура нагрева пленки

$$t_{\max} = t_0 + \frac{q \cdot h}{2\lambda} \cdot \frac{\left( \exp(\pi \xi) + \exp(-\pi \xi) \right)}{\xi \cdot \left( \exp(\pi \xi) - \exp(-\pi \xi) \right)}.$$

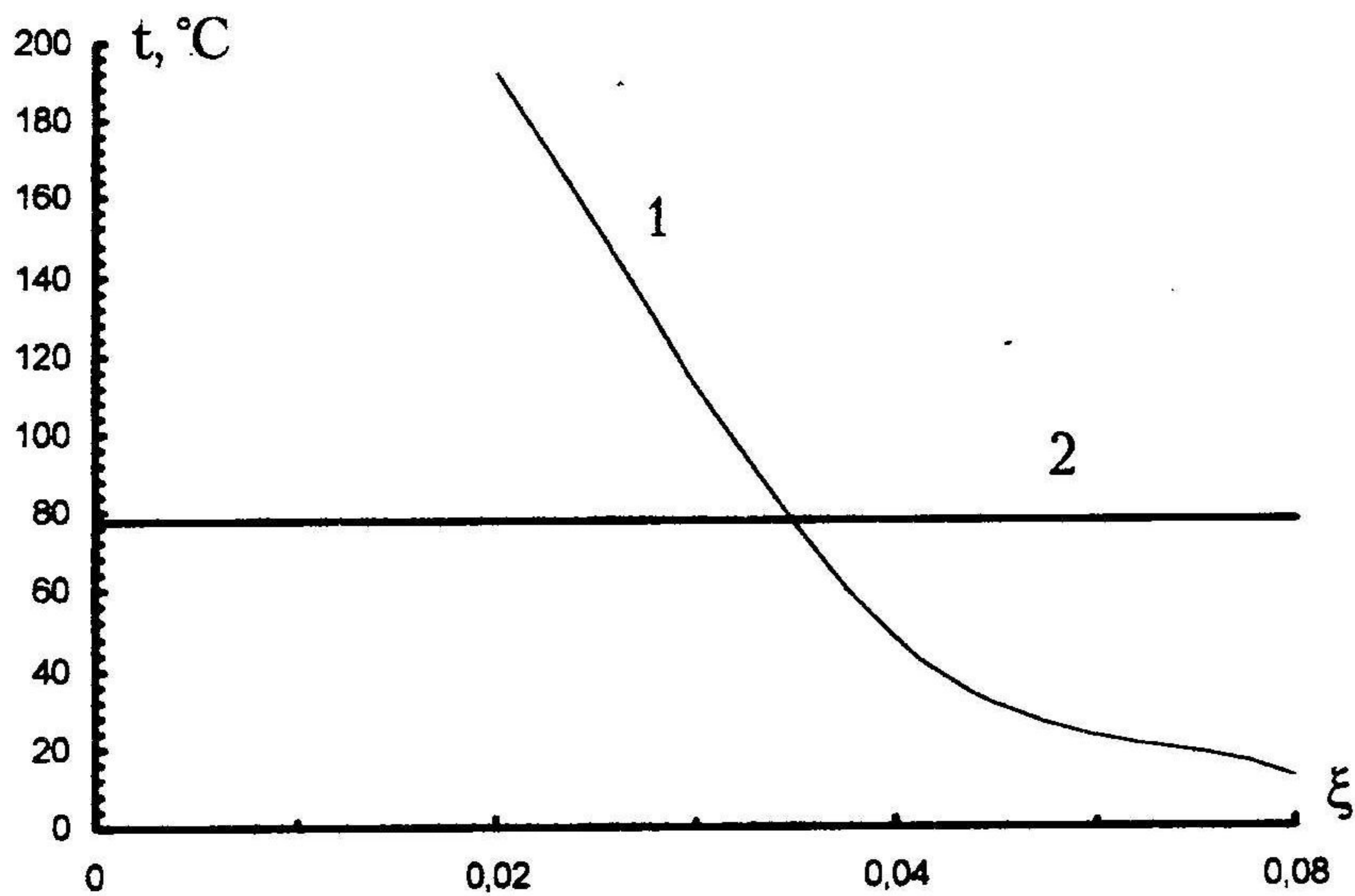


Рис.3. Зависимость температуры пленки от относительной толщины пленки. 1 — температура пленки 2 — температура размягчения полиэтилена.

видно, что режим удержания рабочей температуры пленки можно достичь двумя способами. Можно снижать температуру охлаждающей жидкости в барабане, что может быть целесообразным до температур не ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Второй путь — ограничивать на этапе проектирования и изготовления барабана средний шаг микронеровностей, который определяется прежде всего подачей обрабатывающего инструмента, а также разброс высот этих неровностей. Как видно из рис.4 требования к среднему шагу микронеровностей при  $t = 0^{\circ}\text{C}$  составляют  $S = 150...200$  мкм, что вполне достижимо для современной технологии.

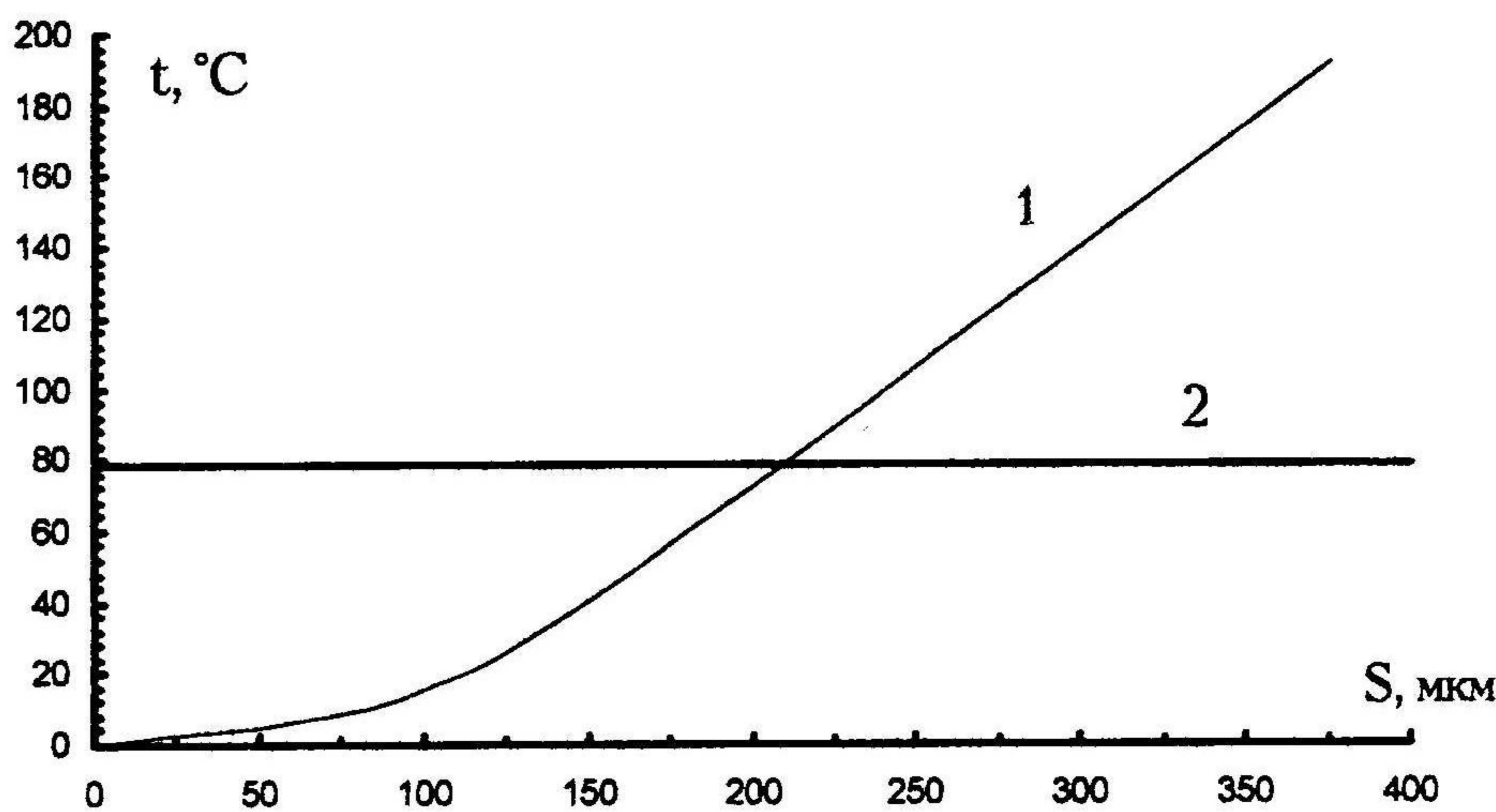


Рис.4. Зависимость температуры пленки от шага микронеровностей. 1 — температура пленки. 2 — температура размягчения полиэтилена

На рис.3 показана зависимость повышения температуры пленки от параметра  $\xi$  для толщины пленки  $h = 30$  мкм при плотности теплового потока  $q = 20$  Вт/м<sup>2</sup>, а на рис.4 — зависимость этой же величины от шага микронеровностей  $S$ .

Максимально допустимая температура нагрева пленки ограничивается температурой размягчения полиэтилена  $t = 75^{\circ}...80^{\circ}\text{C}$ . Это значение температуры размягчения полиэтилена отчеркнуто на рис. 3, 4 жирной линией. Исходя из рис.3 и зависимости (2),

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] К.С. Маленко Переробка полімерних матеріалів на валкових машинах. К.: Техніка, 1977, 162 с.
- [2] В.Т. Павлице Основи конструювання та розрахунків деталей машин.- К: Вища школа, 1993, 526 с.
- [3] А.Н. Алабовский, И.А. Недужий. Техническая термодинамика и теплопередача. К: Вища школа, 1990, 256 с.