

Е. С. ВИКСМАН

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ ВРАЩАЮЩИМИСЯ РЕЗЦАМИ

Нарезание резьбы вращающимися резцами может осуществляться при внешнем и внутреннем касании. Каждая из этих схем имеет определенные преимущества и недостатки, которые обуславливают целесообразность их применения при нарезании различных резьб.

В статье рассматриваются кинематические факторы, определяющие пригодность этих схем при нарезании различных резьб. Анализ этих факторов позволяет объяснить сущность явлений, сопровождающих процесс резания и дать рекомендации по выбору режима резания для различных резьб в зависимости от требуемой точности и чистоты поверхности.

В статье мы преследуем цель сопоставить процесс нарезания резьбы при внешнем и внутреннем касании.

### ОБЪЕМ МЕТАЛЛА, СНИМАЕМОГО ЗА ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ

Объем металла, снятого за одну минуту, с достаточной точностью определится из выражения:

$$Q = fL \text{ мм}^3, \quad (1)$$

где  $Q$  — объем снятого за одну минуту металла (в  $\text{мм}^3$ );  
 $f$  — площадь сечения впадины резьбы (в  $\text{мм}^2$ );  
 $L$  — длина впадины резьбы, нарезанной за одну минуту (в  $\text{мм}$ ).  
Площадь впадины треугольной резьбы в осевом сечении

$$f = \frac{s(r_0 - r_1)}{2} \text{ мм}^2,$$

где  $s$  — шаг резьбы (в  $\text{мм}$ );  
 $r_0$  — наружный радиус резьбы (в  $\text{мм}$ );  
 $r_1$  — внутренний радиус резьбы (в  $\text{мм}$ ).

Если в формулу (2) подставить значения  $(r_0 - r_1)$  для метрической резьбы

$$(r_0 - r_1) = 0,6495 s$$

и дюймовой резьбы

$$(r_0 - r_1) = 0,6403 s,$$

то получим

для метрической резьбы

$$f = \frac{0,6495}{2} s^2 = 0,32475 s^2 \text{ мм}^2, \quad (3)$$

для дюймовой резьбы

$$f = \frac{0,6403}{2} s^2 = 0,32015 s^2 \text{ мм}^2. \quad (4)$$

У треугольных резьб площадь впадины находится в квадратной зависимости от шага.

Площадь впадины трапециевидальной резьбы в осевом сечении равна:

$$f = \frac{(s - 2z \operatorname{tg} 15^\circ)(s + 2z)}{4} \text{ мм}^2, \quad (5)$$

где  $z$  — номинальный зазор между выступом гайки и дном впадины резьбы винта.

Для резьб с шагом от 2 до 4 мм  $z = 0,25$  мм; с шагом от 5 до 12 мм  $z = 0,5$  мм; с шагом от 16 до 40 мм  $z = 1$  мм.

После подстановки значения  $z$ ,  $\operatorname{tg} 15^\circ$  и некоторых преобразований получим формулы для определения площади впадины трапециевидальных резьб.

Для резьб с шагом от 2 до 4 мм:

$$f = \frac{s^2}{4} + 0,091506 s - 0,0167469;$$

с шагом от 5 до 12 мм

$$f = \frac{s^2}{4} - 0,18301 s - 0,0669875;$$

с шагом от 16 до 40 мм

$$f = \frac{s^2}{4} - 0,36602 s - 0,26795.$$

Учитывая, что в этих трех выражениях значения последних чисел очень малы и даже при небольшом шаге резьбы их влияние на определяемое значение площади впадины практически ничтожно, ими можно пренебречь. После округления получим

$$f = \frac{s^2}{4} + 0,09 s \text{ мм}^2; \quad (6)$$

$$f = \frac{s^2}{4} + 0,18 s \text{ мм}^2; \quad (7)$$

$$f = \frac{s^2}{4} + 0,37 s \text{ мм}^2. \quad (8)$$

С практически достаточной точностью длина впадины резьбы, нарезанной за одну минуту (при нарезании за один проход), может быть определена по формуле

$$L = \frac{\pi (r_0 + r_1)}{\cos \beta_{cp}} n_u = \frac{\pi d_{cp}}{\cos \beta_{cp}} n_u, \quad (9)$$

Я. И. ЧЕХМАН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ

Для оценки удельных давлений, возникающих во время печатания при известных деформациях декеля и бумаги необходимо располагать механическими характеристиками покрышек цилиндров печатных машин. В качестве материалов для покрышек применяются бумаги определенных сортов, прорезиненная ткань, пробка, резина, кирза и др.

Все эти материалы подчиняются закону вида

$$\sigma^m = E' \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — напряжение материала (в кг/см<sup>2</sup>);  
 $E'$  — условный модуль упругости (кг<sup>m</sup>/см<sup>2m</sup>);  
 $\varepsilon$  — относительная деформация.

$$\varepsilon = \frac{z}{\delta};$$

$z$  — абсолютная величина деформации (в мм);  
 $\delta$  — толщина образца (в мм).

Величины  $m$  и  $E'$  в литературе принято называть физическими константами, и для данного материала при установившемся режиме их можно в первом приближении считать постоянными.

Для определения физических констант  $m$  и  $E'$  используют экспериментальные данные, обрабатываемые математическим путем [2], откуда находят

$$m = \frac{\lg \varepsilon_2 - \lg \varepsilon_1}{\lg \sigma_2 - \lg \sigma_1}, \quad (2)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\varepsilon_1$  и  $\sigma_2$ ,  $\varepsilon_2$  соответственно напряжения сжатия ( $\sigma$ ) и относительные деформации ( $\varepsilon$ ) для двух произвольно взятых точек диаграммы сжатия.

В логарифмических координатах парабола, как известно, выражается прямой, наклоненной к оси ординат ( $\lg \sigma$ ) под углом  $\alpha$  (рис. 1). Для различных материалов такие прямые будут иметь разный угол наклона.

Из рис. 1 видно, что выражение (2) как отношение разности абсцисс точек 1—2 к разности их ординат представляет тангенс угла  $\alpha$  (в масштабе логарифмических шкал)

$$m = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{\mu_\varepsilon}{\mu_\sigma}, \quad (3)$$

где  $\mu_\varepsilon$  — масштаб шкалы относительных деформаций;

$\mu_\sigma$  — шкалы напряжений сжатия.

Полученное по формуле (3) или из графика на рис. 1 значение показателя степени  $m$  подставляем в выражение (1) и определяем условный модуль упругости

$$E' = \frac{\sigma^m}{\varepsilon} [\text{кг}^m / \text{см}^{2m}].$$

Следовательно, для определения физических констант  $m$  и  $E'$  покрышек необходимо знать их относительные деформации при двух каких-то характерных напряжениях или зависимость (1), построенную в логарифмических координатах  $\lg \sigma - \lg \varepsilon$ .

Для снятия диаграмм сжатия могут быть использованы различные самопишущие или индикаторные приборы, например, пресс Гагарина, пресс ИМ4А. Однако на полиграфических предприятиях испытательные машины, необходимые для снятия диаграммы сжатия, отсутствуют, а поэтому требуются более простые методы определения.

Учитывая это обстоятельство, нами под руководством научного руководителя доц. К. В. Тира разработана упрощенная конструкция специального эластометра.

### КОНСТРУКЦИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ЭЛАСТОМЕТРА

Эластометр представляет собой прибор настольного типа с набором разновесов и комплектом сменных пуансонов.

На опорной плите (1) эластометра (рис. 2) закреплена С-образная стойка (2). В нижней части стойки имеется резьба, в которую ввинчивается регулируемый по высоте стол (3), фиксируемый в определенном положении по высоте контр-гайкой (4).

В верхней части стойки просверлено отверстие с запрессованными в нем бронзовыми втулками, в которых свободно перемещается по вертикали шпindel (5). На стойке закреплен индикатор часового типа с ценой отсчета 0,01 мм (6), упирающийся своим мерительным наконечником в планку (7). Планка (7) закреплена на шпинделе (5). В головку шпинделя (8) вставляется пуансон (9), закрепляемый винтом (10). Испытуемый образец материала (11) устанавливается на

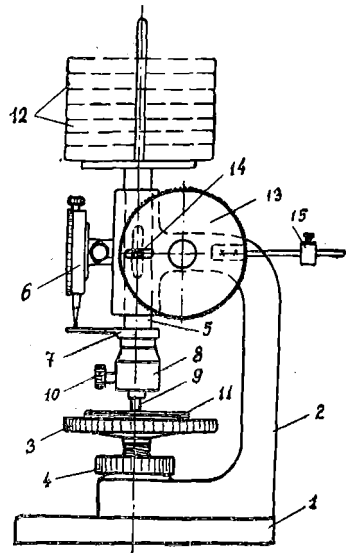


Рис. 2. Эластометр для определения физических констант  $m$  и  $E'$  бумаги.

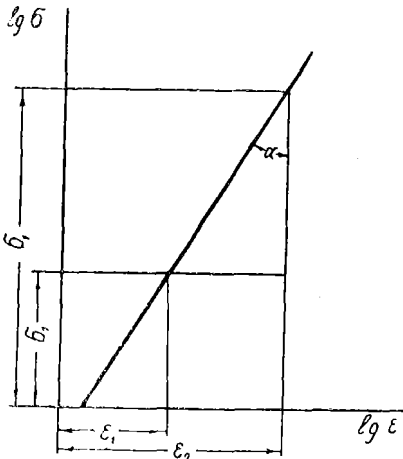


Рис. 1. Диаграмма сжатия упруго-пластического материала в логарифмических координатах.

стол (3). Под действием веса накладываемых гирь (12) пуансон (9) вдавливается в испытуемый материал, деформации которого отсчитываются по индикатору (6). Заметим, что первоначальное давление пуансона на материал устанавливается в соответствии со стандартным удельным давлением, принятым при измерении толщины бумаги специальным микрометром. Это достигается путем изменения плеча действия контргруза (15), предназначенного для уравнивания веса шпинделя с его подвижными частями. Для перемещения шпинделя (5) вверх служит маховичок (13), который связан со штифтом (14) шпинделя горизонтальным кулисным пазом. Для удобства пользования с другой стороны стойки установлен такой же маховичок.

В зависимости от изучаемого явления закрепляется соответствующий пуансон. Так, например, при снятии диаграмм сжатия нами принят цилиндрический пуансон с плоским торцом, имеющим рабочую площадь  $F = 10 \text{ мм}^2$  (что соответствует диаметру  $d = 3,57 \text{ мм}$ ). При изучении влияния ореолов частичной деформации на величину удельного давления можно пользоваться пуансонами с такой же величиной давящей площадки, но с различной изрезанностью.

#### МЕТОДИКА ПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛАСТОМЕТРОМ

При помощи микрометра или специального индикаторного прибора измеряют толщину испытуемого образца материала. Поворотом маховичка поднимают пуансон и укладывают образец на стол. Осторожно опускают пуансон и при имеющемся начальном давлении устанавливают индикатор на нуль. Нагружая шпиндель прибора стандартными гирями, наблюдают за абсолютными деформациями испытуемого образца по показаниям индикатора. Для сопоставимости результатов, колебания температуры и влажности при проведении экспериментов не должны превышать 5%.

Как показал опыт, большое значение имеет интенсивность нагружения.

Известно [1], что под влиянием релаксации деформация таких

упруго-пластических материалов, как бумага, кирза, кожа и т. д. при том же напряжении сжатия с течением времени увеличивается. Это свойство хорошо иллюстрируют и наши испытания на эластометре. На рис. 3 представлены кривые зависимости деформации бумаги от времени при постоянных нагрузках. В качестве образца была взята типо-

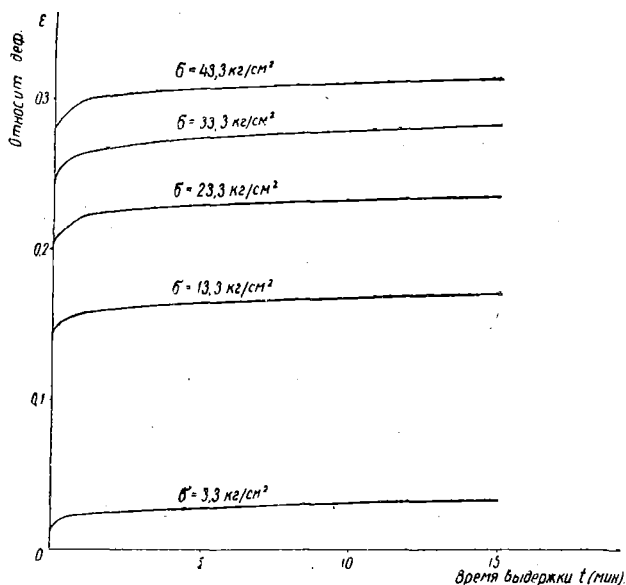


Рис. 3. Изменение относительной деформации бумаги в зависимости от времени выдержки ее под нагрузкой.

графская бумага № 2 Камского целлюлозно-бумажного комбината (вес  $1 \text{ м}^2 = 65 \text{ г}$ ). Толщина образца  $\delta = 1,53 \text{ мм}$ , температура  $t = 16^\circ\text{С}$ , относительная влажность  $90\%$ .

Увеличение деформаций с течением времени, очевидно, следует объяснить, в первую очередь, постепенным просачиванием воздуха, задерживающегося в капиллярах волокон и между отдельными волокнами бумаги. Таким образом, отсчет деформаций следует вести с учетом требующихся данных, в одном и том же интервале выдержки после нагружения. (Например, с наименьшей выдержкой при изучении свойств тиражной бумаги при печати, со значительной выдержкой при изучении кинетики деформаций при прессовании на паковально-обжимных, блоко-обжимных и переплетно-обжимных прессах).

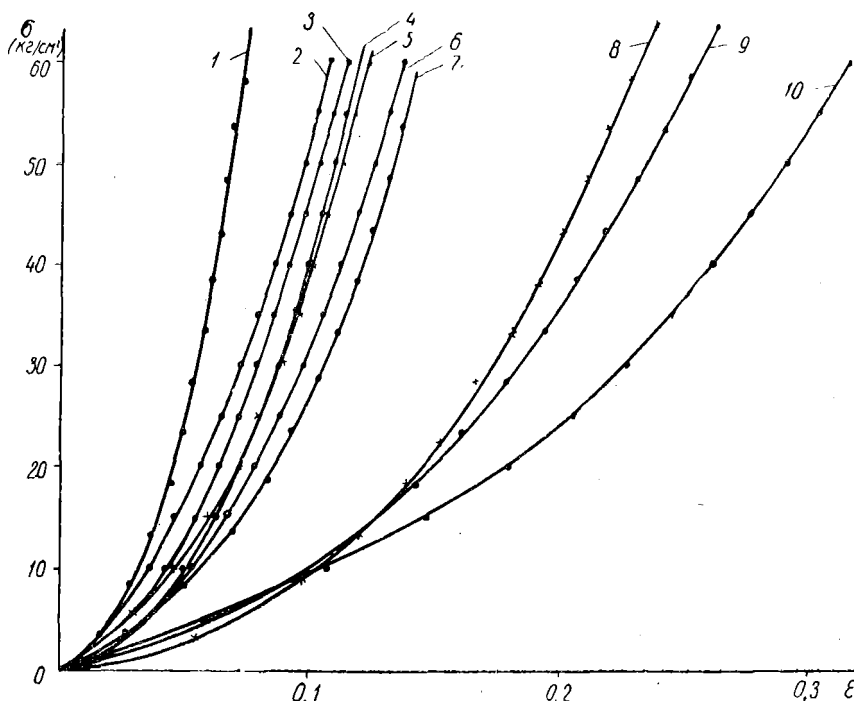


Рис. 4. Кривые сжатия различных сортов бумаг:

1 — мелованная; 2 — литографская № 1, финская,  $120 \text{ г/м}^2$ ; 3 — картографическая Вишерской ф-ки,  $120 \text{ г/м}^2$ ; 4 — типографская № 1 Знаменского цел.-бум. ком-та,  $70 \text{ г/м}^2$ ; 5 — типографская № 1 ф-ки «Стайцел»,  $70 \text{ г/м}^2$ ; 6 — офсетная,  $120 \text{ г/м}^2$ ; 7 — типографская № 1 Камского ком-та; 8 — прорезиненная ткань; 9 — типографская № 2 Камского ком-та; 10 — газетная.

На рис. 4 представлены зависимости  $\sigma(\epsilon)$ , полученные на эластомере для бумаги ряда сортов. Точки представляют собой среднее арифметическое не менее чем из трех значений. Характер кривых полностью отражает параболическую зависимость.

Испытания проводились при  $t = 16\text{—}20^\circ\text{С}$  и относительной влажности воздуха  $85\text{—}88\%$ .

Построенные зависимости  $\sigma(\epsilon)$  дают наглядное представление об изменениях деформаций бумаги под нагрузкой. Однако с помощью таких кривых нельзя быстро определить физические характеристики  $m$  и  $E'$ . В производственных условиях желательно упростить определение  $m$  и  $E'$ .

**СПЕЦИАЛЬНАЯ НОМОГРАММА  $E'$  ( $\epsilon$ ) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ИСПЫТУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ<sup>1</sup>**

Для решения задачи о взаимосвязи показаний эластометра и физических характеристик испытуемого материала допустим, что отсчеты деформаций производятся при двух стандартных значениях нагрузок (напряжений сжатия) и напишем два уравнения

$$\left. \begin{aligned} 1) \sigma_1^m &= E' \cdot \frac{z_1}{\delta} \\ 2) \sigma_2^m &= E' \cdot \frac{z_2}{\delta} \end{aligned} \right\}$$

Очевидно, что для каждого конкретного материала в координатах  $E'$  ( $\epsilon$ ) мы найдем свой горизонтальный отрезок, отражающий изменение  $\epsilon$  в пределах от  $\epsilon_1$  до  $\epsilon_2$  при стандартных значениях  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  во всех испытаниях (рис. 5).

Для практических целей на этой диаграмме можно нанести сетку парных кривых  $E'$  ( $\epsilon$ ) соответствующих  $m = \text{const}$  при  $\sigma_1 = \text{const}$  и  $\sigma_2 = \text{const}$ , что определится из зависимостей

$$E'_i = \frac{\sigma_1^m}{\epsilon_i} \text{ и } E'_i = \frac{\sigma_2^m}{\epsilon_i}.$$

При постоянстве  $\sigma_1^m$  и  $\sigma_2^m$  эти зависимости выражаются гиперболами  $E' \cdot \epsilon = c_1$  и  $E' \cdot \epsilon = c_2$ , где  $c_1 = \sigma_1^m$  и  $c_2 = \sigma_2^m$  — параметры данной пары гипербол.

Для каждого частного значения степени ( $m$ ) при стандартных значениях  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  существует только одна совершенно определенная пара гипербол. Придавая величине  $m$  ряд частных значений в пределах  $0 < m < 1$  с интервалами в 0,05, строим номограмму — семейство гипербол  $E' \cdot \epsilon = \sigma_1^m$  и  $E' \cdot \epsilon = \sigma_2^m$ , с указанием значений  $m$  в разрывах линий каждой пары гипербол ( $m = \text{const}$ ), изображенную на рис. 6 при  $\sigma_1 = 20 \text{ кг/см}^2$  и  $\sigma_2 = 50 \text{ кг/см}^2$ .

Выбор этих значений напряжений произведен нами с учетом обычного применяемого удельного давления при печати и стремлением использовать точки более устойчивой части кривой диаграммы сжатия. Известно, что при малых удельных давлениях обычно наблюдается большой разброс, что связано с влиянием имеющейся помятости отдельных листов образца.

Приведем пример определения  $m$  и  $E'$  по номограмме (рис. 6). На эластомере испытана бумага типографская № 1 Знаменского целлюлозно-бумажного комбината, толщина образца  $\delta = 2 \text{ мм}$ .

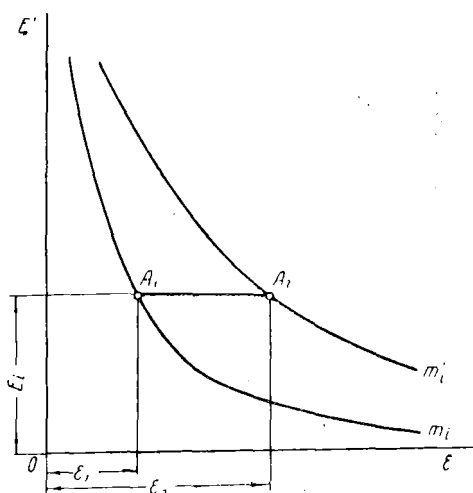


Рис. 5. Схема к определению физических констант  $m$  и  $E'$ .

<sup>1</sup> Идея построения номограммы принадлежит доц. К. В. Тиру.

<sup>2</sup> По изложенной методике можно построить номограмму и для других значений напряжений сжатия, например  $\sigma_1 = 10 \text{ кг/см}^2$  и  $\sigma_2 = 30 \text{ кг/см}^2$ .

Определение физических характеристик условного модуля упругости и показателя степени

$\epsilon_1$	$m$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	
0,03	$\epsilon_2$	0,033	0,035	0,036	0,038	0,040	0,042	0,043	0,046	0,048	0,050								
	$E'$	45	52	60	70	82	95	110	128	150	173								
0,04	$\epsilon_2$	0,044	0,046	0,048	0,052	0,053	0,056	0,058	0,061	0,063	0,066	0,069	0,072						
	$E'$	34	39	45	53	62	71	83	96	113	130	151	175						
0,05	$\epsilon_2$	0,055	0,058	0,062	0,063	0,066	0,070	0,073	0,076	0,078	0,083	0,087	0,090	0,094	0,098				
	$E'$	27	31	36	42	49	57	66	77	90	104	121	140	163	189				
0,06	$\epsilon_2$	0,066	0,070	0,072	0,076	0,078	0,084	0,087	0,091	0,095	0,100	0,105	0,107	0,113	0,120	0,124			
	$E'$	22	26	30	35	41	47	55	64	75	87	101	117	136	158	183			
0,07	$\epsilon_2$	0,078	0,082	0,084	0,088	0,092	0,098	0,102	0,106	0,112	0,116	0,122	0,126	0,133	0,139	0,147	0,152		
	$E'$	19	22	26	30	35	41	47	55	64	74	86	100	116	135	157	182		
0,08	$\epsilon_2$	0,088	0,093	0,095	0,102	0,106	0,110	0,117	0,120	0,127	0,132	0,140	0,143	0,153	0,158	0,167	0,173	0,183	
	$E'$	17	20	23	26	31	36	41	48	56	65	75	85	102	118	137	159,5	185	
0,09	$\epsilon_2$	0,098	0,106	0,109	0,114	0,116	0,125	0,131	0,135	0,141	0,147	0,156	0,163	0,172	0,180	0,186	0,195	0,205	
	$E'$	15	17	20	23,5	27	32	37	43	50	58	67	78	90,5	105	122	142	165	
0,10	$\epsilon_2$	0,111	0,115	0,121	0,127	0,130	0,138	0,144	0,150	0,157	0,165	0,174	0,180	0,191	0,199	0,208	0,215	0,228	
	$E'$	13,5	16	18	21	25	28,5	33	38,5	45	52	60	70	81	95	110	128	148	





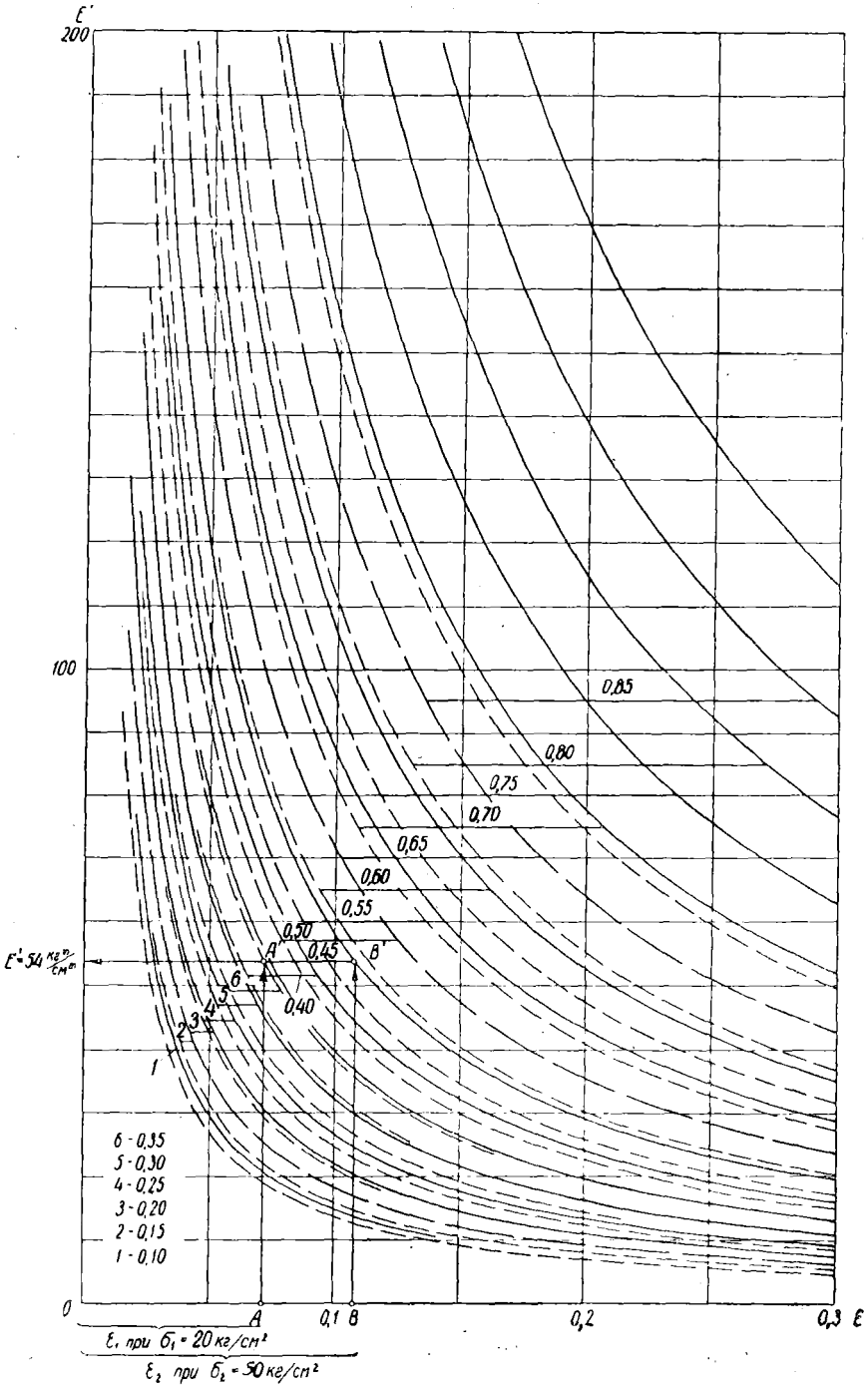


Рис. 6. Номограмма для определения  $m$  и  $E'$ .

При нагружении эластометра грузом  $Q_1 = 2$  кг, что при давящей площади пуансона  $0,1$  см<sup>2</sup> соответствует напряжению сжатия образца  $\sigma_1 = 20$  кг/см<sup>2</sup>, определена его абсолютная деформация  $z_1 = 0,142$  мм, а при  $Q_2 = 5$  кг ( $\sigma_2 = 50$  кг/см<sup>2</sup>) соответственно  $z_2 = 0,217$  мм. Относительные деформации образца

$$\epsilon_1 = \frac{0,142}{2} = 0,071 \text{ и } \epsilon_2 = \frac{0,217}{2} = 0,108.$$

По номограмме (рис. 6) из точек  $A$  и  $B$  по оси абсцисс, соответствующих найденным значениям  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ , проводим две вертикальные прямые. Затем ищем пару гипербол, пересекающихся с вертикальными прямыми на одной горизонтали. Точка  $A'$  на пунктирной кривой и точка  $B'$  на сплошной кривой с одинаковыми значениями  $m = 0,45$  удовлетворяют поставленному условию. По уровню расположения точек  $A'$  и  $B'$  определяется значение  $E' = 54$  кг<sup>m</sup>/см<sup>2m</sup>. Итак, физические константы испытуемого материала  $m = 0,45$  и  $E' = 54$  кг<sup>m</sup>/см<sup>2m</sup>.

С целью облегчения определения физических характеристик условного модуля упругости  $E'$  [кг<sup>m</sup>/см<sup>2m</sup>] и показателя степени  $m$  составлена таблица 1, в которой слева по вертикали указаны значения относительной деформации сжатия  $\epsilon_1$ , найденные при первом нагружении ( $\sigma_1 = 20$  кг/см<sup>2</sup>), а сверху по горизонтали — значения показателей степени  $m$ . В координатных клетках указаны значения относительной деформации  $\epsilon_2$  (при  $\sigma_2 = 50$  кг/см<sup>2</sup>) и значения условного модуля упругости  $E'$ , соответствующие данным  $\epsilon_1$  (координата по вертикали) и  $m$  (координата по горизонтали). Метод математического определения величин  $\epsilon_2$  и  $E'$  по заданным  $\epsilon_1$  и  $m$  тот же, что и для построения номограммы

$$\left[ E' = \frac{c_1}{\epsilon_1} = \frac{\sigma_1^m}{\epsilon_1} \text{ и } \epsilon_2 = \frac{c_2}{E'} = \left( \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^m \cdot \epsilon_1. \right]$$

Определив значения  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  с помощью эластометра, по таблице находим строку (по  $\epsilon_1$ ) и в ней клетку, соответствующую данному  $\epsilon_2$ . В клетке приводится значение  $E'$ ; по положению клетки в строке определяется колонка, соответствующая искомому  $m$ , читаемому в верхней строке.

**Пример.** С помощью эластометра для печатной типографской бумаги № 1 найдены значения  $\epsilon_1 = 0,070$  и  $\epsilon_2 = 0,116$ . В таблице 1 по строке  $\epsilon_1 = 0,07$  находим значение  $\epsilon_2 = 0,116$  в десятой клетке, где указана величина  $E' = 74$  кг<sup>m</sup>/см<sup>2m</sup>; по положению колонки находим  $m = 0,55$ .

### ВЫВОДЫ

Предложен метод рационального определения физических характеристик упруго-пластических материалов при сжатии с использованием специального эластометра простой конструкции, номограммы и таблицы, допускающих быстрое получение результата в условиях производственных лабораторий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Козаровицкий Л. А., Каганова Р. Э. Исследование печатного процесса высокой печати. Сборник научных работ ВНИИППИТ, вып. VI, 1953.
2. Тир К. В. О нагрузках, возникающих при печати в печатных машинах. Сборник трудов УНИИП, вып. 1, 1937.