

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА СОСТАВНЫХ МАТРИЦ

Белохвостов Г.И., Станкевич П.В., Филидович Е.Н.

Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск, Беларусь

Данная методика содержит следующие виды расчетов: технологический, расчет на прочность, теплотехнический расчет, оценка экономической эффективности.

1. Технологический расчет. Технологический расчет заключается в определении производительности (пропускной способности) матрицы и диаметра матрицы по заданной производительности.

Производительность матрицы по сухим изделиям Q (кг/ч) определяется по формуле: $Q = 0,0036 \vartheta \rho_T f (100 - W_T) / (100 - W_{изд})$, где ϑ – скорость выпрессовывания, см/с; ρ_T – плотность спрессованного теста, кг/м³; f – площадь живого сечения матрицы, см²; W_T и $W_{изд}$ – влажность теста и сухих изделий, %.

Определение площади живого сечения матрицы: для трубчатых изделий: $f_M = \pi d / 4 \cdot (d_{ш}^2 - d_{э}^2)$, где n – число отверстий матрицы; $d_{ш}^2$ – диаметр формирующей щели, см; $d_{э}^2$ – диаметр ножки вкладыша, см; для вермишели: $f_M = n\pi / 4 d^2$, где d – диаметр формирующего отверстия, см; для лапши: $f_M = n l a$, где l – длина формирующей щели, см; n – ширина формирующей щели, см.

Для определения диаметра матрицы проводится расчет суммарного живого сечения формирующих щелей (в см²): $\sum f = Q R / 3,6 \vartheta \rho_T f (100 - W_{изд}) / (100 - W_T)$, где R – коэффициент полезно работы матрицы, учитывающий количество обрезков длинных сырых изделий, возвращаемых в пресс на переработку, а также количество неработающих отверстий, принимают $R = 0,90 \div 0,95$.

Определение площади матрицы F (в см²) вычисляется по формуле: $F = \sum f / R_f$, где R_f – коэффициент живого сечения матрицы для круглых матриц в зависимости от вида изделий принимают $R_f = 0,035 \div 0,140$.

Определяем скорость выпрессовывания теста [1] ϑ по формуле: $\vartheta = (1/4\eta) \cdot ((P - P_0)/h) \cdot (r_0^2 - r^2)$, где η – коэффициент вязкости; P , P_0 – давление соответственно перед матрицей и на выходе теста; h – толщина (высота) матрицы; r_0 – наружный радиус формирующего отверстия; r – внутренний радиус формирующего отверстия.

Определяем объем теста Q_T , протекающий за 1с через поперечное сечение формирующего отверстия: $Q_T = (\pi/128) \cdot ((P - P_0)/h) \cdot (d^4/\eta)$, где d – диаметр формирующего отверстия.

Диаметр матрицы D (в см) рассчитывают по формуле: $D = \sqrt{4F/\pi}$. Здесь важно, чтобы производительность матрицы была равна производительности шнека прессы.

2. Расчет на прочность. Проводят с целью определения допустимой нагрузки (давление прессования) на матрицу.

Для круглых матриц при расчете минимальной толщины h (в мм) можно использовать формулу: $h = D \sqrt{A\rho/[\delta]}$, где D – диаметр матрицы, см; A – коэффициент, величина которого в зависимости от диаметра отверстий и числа концентрических рядов в матрице составляет $1,4 \div 13,7$; ρ – расчетное давление прессования, Па; $[\delta]$ – допустимое напряжение материала матрицы, Па.

Максимальный изгибающий момент [2] M_r (в Нм/м) определяем по формуле: $M_r = 6,25 \cdot 10^{-5} \cdot \rho \cdot (R^2/n) \cdot (3 + \mu)$, где ρ – давление, Мпа; R – радиус корпуса матрицы, мм; μ – коэффициент Пуансона материала матрицы для стали 20 можно приняты $\mu = 0,3$; n – число составных частей.

Определяем максимальное напряжение в центре матрицы δ_r (в Па) по формуле: $\delta_r = 6 \cdot M_r/h^2$, где h – толщина корпуса матрицы, мм. Допускаемое напряжение для корпуса матрицы, изготавливают, например, из стали 20 равно $[\delta] = 420/3,5 = 120$ МПа. Для нормальной работы матрицы необходимо выполнить условие: $\delta_r < [\delta]$.

Теоретические расчеты показывают, что максимальные моменты и напряжения в составных матрицах значительно снижены при неизменной жесткости корпуса: с $M_r = 210000$ Нм/м до $M_r = 5228,4$ Нм/м; с $\delta_r = 104 \cdot 10^6$ Па до $\delta_r = 26 \cdot 10^6$ Па.

Величину прогиба [3] f в центре корпуса составной матрицы определяем по формуле (экспериментальные данные): $f = 1,56 \cdot 10^{-2} \cdot \rho \cdot (R^4/Dn')$, где D – цилиндрическая жесткость корпуса матрицы, которая определяется по уравнению: $D = (Eh^3/12)/(1 - \mu^2)$, где E – модуль упругости материала матрицы; h – толщина матрицы, м. Количество составных частей матрицы n зависит от числа сквозных зазоров: при одном зазоре $n = 2$, при двух зазорах $n = 3$.

3. Теплотехнический расчет составных матриц. Согласно теории линейного расширения металлов увеличение длины металлического стержня при нагревании определяется по формуле: $\Delta l = \alpha' l(t - t_0)$, где ΔL – увеличение длины металлического стержня при нагреве, м; α' – относительное удлинение (коэффициент линейного теплового расширения) стального стержня (прутка) длиной в 1 м (для стали $\alpha' = 1,2 \cdot 10^{-5}$), м/(м*°C); l – исходная длина стержня, м; t – температура нагрева металлического стержня, °C; t_0 – начальная температура металлического стержня, при нормальных условиях 20°C.

4. Оценка экономической эффективности составных матриц. Конструкция составной матрицы позволяет изготавливать большую часть, имеющий вид кольца, из бронзы БрАЖ9-4, а меньшую часть, выполненную в виде диска, из хромистой стали 30X13. В этом случае мы получаем не просто составную матрицу, а составную биметаллическую матрицу, но более дешевую.

По сравнительным данным на 2020г. 1кг бронзы БрА9ЖЗЛ стоит 14,7 рубля, а 1кг стали 30X13 (40X13) – 6,8 рубля, исходя из разницы в ценах, замена материала центрального основания (вкладыша) на более дешевый дает реальный экономический эффект. При замене бронзового основания на стальной мы имеем с каждого килограмма массы (14,7р – 6,8р) экономию в 7,9 белорусских рубля. Экономический эффект также можно получить за счет уменьшения толщины корпуса матрицы.

Литература

1. Груданов, В.Я. Моделирование и оптимизация процесса формования макронных изделий на основе теории чисел / В.Я. Груданов, А.Б. Торган. – Минск: БГАТУ, 2017. – 172 с.

2. Груданов, В.Я. Моделирование и оптимизация процессов переработки сельскохозяйственной продукции / В.Я. Груданов, А.А. Бренч. – Минск: БГАТУ, 2017. – 280 с.

3. Груданов, В.Я. Моделирование и оптимизация процессов формования макронных изделий в каналах матриц ступенчато-переменного сечения / В.Я. Груданов, А.Б. Торган, Л.Т. Ткачёва // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, серія фізіко-тэхнічных навук. Минск, 2016. – №4. – С.73-83.