

УДК621.771.

М.С. Ботов (5 курс, каф. ПОМКиПМ), Ю.И. Рыбин, д.т.н., доц.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИМА С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ НАГРЕВОМ

Обжим с дифференцированным нагревом используется для получения конусов с высотой большей диаметра. В массовом и крупносерийном производстве обжим осуществляют в специальных штампах, рабочий орган которых — кольцевая матрица. Получение требуемой толщины стенки достигается за счет поддержания в процессе обжима необходимого распределения температуры на рабочей поверхности матрицы, а также соблюдения скоростного режима.

Задачей исследования является прослеживание во времени процесса формоизменения исходной заготовки – трубы Ш300х6 мм – при сжатии в осевом направлении нагреваемыми матрицами. Анализ процесса имеет конечной целью оптимизацию скоростного и температурного режима процесса, так как эти параметры непосредственно влияют на технологию производства и качество конечного продукта.

Математическое моделирование предполагает совместное решение двух задач: задачи нестационарной теплопроводности и задачи неизотермического упруго – вязко - пластического течения.

Решение задачи теплопроводности показало, что если весь процесс деформирования длится более 30 секунд, распределение температуры вдоль длины заготовки фактически подчиняется уравнению Лапласа (уравнению стационарной теплопроводности).

Решение задачи неизотермического упруго – вязко - пластического течения представляло собой поэтапное прослеживание процесса при заданном перемещении торцевого сечения (находящегося за пределами охлаждаемой обоймы) и поля температур, полученного из решения задачи теплопроводности.

Дальнейшее исследование имело цели:

- во-первых, обосновать скоростной режим деформирования;
- во-вторых, оптимизировать температурный режим в направлении обеспечения требуемых толщин стенок.

Выбор скорости подачи металла в матрицу и тепловой режим выбирались следующим образом: исходным требованием принималось условие квазистационарного поля температур – стационарного в лагранжевых координатах. Несоблюдение условия квазистационарности процесса означало бы его неустойчивость: каждый следующий единичный объем металла, поступающий в очаг деформации, имел бы ту же температуру на поверхности контакта с матрицей и переменную, уменьшающуюся, по внутренней поверхности заготовки.

Сравнивались два варианта расчета:

- модель стационарного процесса (решение задачи теплопроводности по уравнению Лапласа);
- модель нестационарного процесса (решение задачи теплопроводности по уравнению Фурье),

При задании скоростей перемещения трубы  $v = 3$  мм/с результаты расчета

стационарного и нестационарного процессов совпали (различия в долях градуса соизмеримы с погрешностью численного решения). При задании скорости перемещения трубы  $v = 5$  мм/с максимальное различие температур (на стыке торцевой и внутренней поверхностей трубы) составило  $10^{\circ}\text{C}$  (2%). На расстоянии от торца, примерно равном толщине стенки трубы, различие температур, полученных по уравнениям Фурье и Лапласа, соизмеримо с точностью численного решения.

На основании этого для решения задачи формоизменения использовались результаты решения задачи стационарной теплопроводности и рассматривались два варианта:

В первом из вариантов технологического процесса перераспределения толщин стенки предполагалось достичь за счет снижения температуры матрицы (и, следовательно, заготовки) на участке выхода заготовки из отверстия в матрице и увеличения температуры на входе в матрицу.

Второй из анализируемых вариантов технологического процесса предполагал максимальное снижение температуры переднего конца заготовки. На стыке цилиндрической и эллипсоидной частей матрицы задавалась  $T=210^{\circ}\text{C}$ , чтобы при  $80$  тс в этом районе начались пластические деформации с утолщением стенки.

Несмотря на снижение температуры переднего конца заготовки, толщина стенки увеличивалась по мере уменьшения диаметра и, в конечном итоге, оказалась практически не зависящей от температурного режима деформирования.

Исходя из проведенных опытов, стало очевидно, что основным параметром, влияющим на форму и толщину стенки, а так же ограничивающим скоростной режим подачи металла в матрицу, является геометрический, а не температурный.