

The peculiarities of the process of the point tool hot extrusion are examined in this article.

А. В. АЛИФАНОВ, ФТИ НАН Беларуси, Л. А. ИСАЕВИЧ, БНТУ,
В. Г. КАНТИН, А. М. МИЛЮКОВА, ФТИ НАН Беларуси

УДК 621.79

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ КОНЦЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Процесс деформации горячего металла путем объемной штамповки выдавливанием обычно осуществляют с использованием штампа, полость которого изготовлена таким образом, чтобы обеспечить плавное течение металла при ее заполнении, причем весь процесс течения материала должен происходить без образования надрывов и трещин. Для этого необходимо учитывать влияние большого числа факторов, важнейшие из которых могут быть обобщены в следующие группы:

- 1) конструктивные;
- 2) температурно-временные;
- 3) фрикционные.

Конструктивные факторы эффективности процесса горячего выдавливания включают в себя конструктивные элементы штампа (матрица, контейнер, пуансон), общие требования к проектированию которых должны учитывать возможность плавного течения деформируемого материала, заполнение рельефа формообразующего инструмента, рациональный выбор материалов для элементов штампа, точность изготовления сопрягаемых деталей и узлов, сменность изнашиваемых элементов и возможность унификации при их замене на другие типоразмеры.

К температурно-временным факторам процесса выдавливания профильных заготовок концевое режущее инструмента следует отнести факторы теплового взаимодействия нагретой заготовки и штампового инструмента в процессе их контакта при пластическом деформировании.

Известно, что быстрорежущие стали, применяемые в качестве основного материала для изготовления концевое режущее инструмента, относятся к термочувствительным, склонным к проявлению достаточных пластических свойств только в узком температурном интервале горячей обработки. Экспериментальные данные показывают, что таким диапазоном максимальной пластической деформации стали Р6М5 является интервал 1050–1100 °С. В связи с тем что в результате

контакта нагретой заготовки со штампом происходит теплопередача от заготовки через прослойку смазки к стенкам контейнера и матрице, теплосодержание ее уменьшается, температура заготовки может стать ниже оптимального температурного интервала пластичности деформируемого материала. При этом общая величина теплопотерь зависит как от граничных условий температуры поверхности контакта и условий теплопередачи, так и от времени процесса теплопередачи, так и от времени процесса теплопередачи. Как показывает практика, при скоростном горячем выдавливании основная доля теплопотери заготовки обусловлена, в первую очередь, контактом ее с рабочей средой, особенно в начальной стадии деформирования, когда она находится в цилиндрическом приемнике (контейнере). Даже при кратковременном контакте (1–3 с) в зависимости от первоначальной температуры заготовки и состава смазки теплопотери могут достигать десятков, а иногда и сотен градусов.

Поэтому при эксплуатации штампа нельзя не учитывать влияние таких факторов, как исходная температура заготовки, время контакта заготовки со смазкой и штампом, теплофизические свойства заготовки, штампа и смазки, объем деформируемого материала и температура подогрева штампа. Особую важность эти факторы приобретают при выдавливании профильных заготовок инструмента с внедрением в них в процессе формообразования хвостовиков из углеродистой стали. В этом случае время контакта нагретой заготовки со штампом примерно вдвое больше, чем в случае обычного прямого выдавливания.

Факторы фрикционного характера определяют энергозатраты непосредственно при пластическом формообразовании, с одной стороны, и неравномерность деформированного состояния при пластическом течении — с другой. Снижению контактного трения способствует применение смазок, в той или иной мере разделяющих контактируемые поверхности при пластическом течении деформи-

руемого материала относительно формообразующего инструмента. При этом должна быть обеспечена достаточная термостабильность смазок при температурах горячей обработки. Таким образом, при горячем выдавливании смазки выполняют роль экранирующих прослоек как в механическом, так и в теплофизическом отношениях.

Механические и эксплуатационные свойства изделий, полученных горячей пластической деформацией, а также стойкость элементов штампа при деформировании во многом определяются температурным режимом обработки, который зависит от начальной температуры нагрева заготовки, времени переноса заготовки в штамп, геометрических параметров заготовки и инструмента, сил трения при деформации, теплофизических свойств материалов заготовки, штампа и смазки и т.д. Процессы теплообмена при горячем выдавливании существенно влияют как на тепловое состояние деформируемой заготовки, так и на изменение температурного поля предварительно подогретого штампового инструмента. Как показывает практика, основная доля теплотерь происходит в начальной стадии, когда время ее контакта со штамповым инструментом в десятки раз превышает время деформации при выдавливании (0,1–0,3 с). В связи с изменяющимся во времени температурным полем в рассматриваемой системе процесс теплообмена необходимо считать нестационарным, точное описание которого с изменяющимися теплофизическими свойствами и сложными граничными условиями имеет громоздкое решение, неприемлемое для инженерной практики. Поэтому при решении практических задач часто прибегают к экспериментально-аналитическому методу.

Рассмотрим процесс теплопередачи при горячем выдавливании, схема которого показана на рис. 1.

При решении задачи используем следующие допущения:

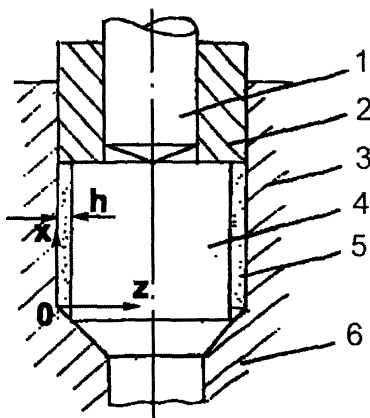


Рис. 1. Схема к расчету теплопередачи при горячем выдавливании: 1 – хвостовик; 2 – втулка; 3 – контейнер; 4 – заготовка; 5 – смазка; 6 – матрица

1) температурное поле в слое смазки одномерное;

2) контакт смазки с поверхностью заготовки – идеальный, а коэффициент теплообмена – постоянный;

3) основной формой переноса тепла в слое смазки является теплопроводность в направлении, перпендикулярном поверхности контакта;

4) диссипацией энергии смазки при деформации можно пренебречь, так как она несравнимо мала в сравнении с тепловой энергией, передаваемой смазке от нагретой заготовки.

Пусть исходная температура слоя смазки будет T_c , контейнера – T_k , а заготовки – T_0 . Тогда условие задачи можно записать так:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad T(z, 0) = T_c, \quad T(0, t) = T_k, \quad (1)$$

$$T(h, t) = \varphi(t),$$

где a – температуропроводность смазки; $\varphi(t)$ – температурная функция, характеризующая изменение температуры в теле заготовки во времени и подлежащая определению.

Если допустить, что для какого-то момента времени $t^* \in [t_{j-1}, t_j]$, $\varphi(t) = \varphi_j = \text{const}$, то решение (1), полученное с помощью преобразования Лапласа, можно представить в виде

$$T_{j,z} = T_c + (T_k + T_c) \operatorname{erfc} \frac{z}{2\sqrt{at_j}} + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[\operatorname{erfc} \frac{(2n-1)h-z}{2\sqrt{at_j}} - \operatorname{erfc} \frac{(2n-1)h^2+z}{2\sqrt{at_j}} \right] (\varphi_j - T_c) - \left[\operatorname{erfc} \frac{2nh-z}{2\sqrt{at_j}} - \operatorname{erfc} \frac{2nh+z}{2\sqrt{at_j}} \right] (T_k - T_c) \right\} \quad (2)$$

где $\operatorname{erfc}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} \exp(-z^2) dz$ – функция ошибок

Гаусса.

Для определения $\varphi(t)$ используем уравнение теплового баланса:

$$Vc\gamma dT = -\alpha(T^* - T_c)FdT, \quad (3)$$

где T^* – текущая температура заготовки; V и F – соответственно объем заготовки и площадь ее боковой поверхности; c и γ – соответственно удельная теплоемкость и плотность материалов заготовки; α – коэффициент теплоотдачи.

Будем считать, что средняя температура смазки T_m во времени изменяется по линейному закону:

$$T_m = T_c + \frac{dT}{dt}. \quad (4)$$

Определив из (4) T_c и подставив его в (3), получим

$$(CR+t)d\theta = -\theta dt, \quad (5)$$

где $C=c\gamma V$ – объемная теплопроводность; $R=\frac{1}{\alpha F}$ – термическое сопротивление; $\theta=T^*-T_c$ – избыточная температура.

Разделяя в (5) переменные и интегрируя, будем иметь выражение

$$\ln\theta=-\ln(t+CR)+d, \quad (6)$$

где d – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий.

Окончательно получим

$$\theta=\frac{\theta_c}{\theta_0}=\frac{T^*-T_c}{T_0-T_c}=\frac{1}{F_0+1}, \quad (7)$$

где $F_0=\frac{t}{cR}$ – критерий гомохронности Фурье.

Таким образом, температура поверхности заготовки в любой момент времени охлаждения определяется из (7):

$$T_{j,t}=T^*=\frac{T_0+F_0T_c}{F_0+1}. \quad (8)$$

Полагая, ввиду малости зазора между заготовкой и контейнером $T_c=\frac{T_k+T_c}{2}$, окончательно получаем

$$T^*=\frac{T_0+F_0\frac{T_k+T_c}{2}}{F_0+1}. \quad (9)$$

Для оценки достоверности полученных формул были проведены экспериментальные работы по исследованию температурного поля в нагретой заготовке, охлаждаемой в результате контакта со смазкой и штампом. Процесс теплообмена был моделирован в приспособлении, позволяющем регистрировать с помощью термопар распределение температурного поля по радиусу заготовки, помещенной в цилиндрический, со смазанной внутренней поверхностью, приемник после нагрева заготовки до необходимой температуры. Следует отметить, что наиболее существенный вклад в интенсивность изменения температуры поверхности заготовки при охлаждении вносит смазочная среда, состав которой обуславливает величину коэффициента теплообмена. Изменение температуры поверхности и внутренних слоев цилиндрической заготовки диаметром 30 мм, нагретой до $T_c=1000^\circ\text{C}$ и охлажденной в смазочной графито-масляной среде, находящейся в зазоре между заготовкой и контейнером, показано на рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показывает достаточную близость результатов. Расхождение данных с увеличением времени охлаждения обусловлено тем, что при расчете был учтен подогрев штампа до 300°C , в то время как при эксперименте подогрев контейнера не производили.

Процесс получения биметаллического инструмента, состоящего из рабочей части, изготавли-

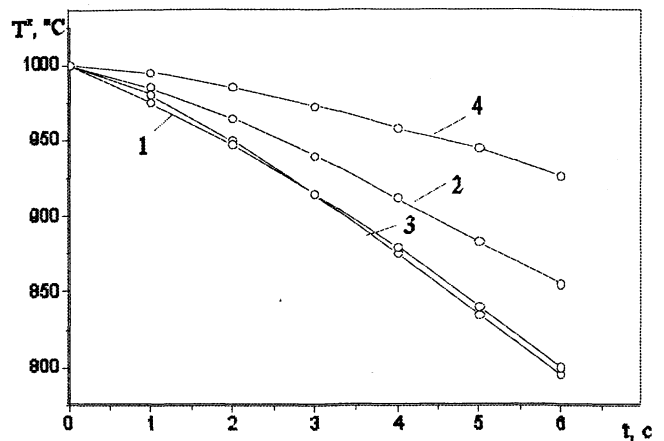


Рис. 2. Изменение температуры поверхности заготовки при охлаждении: 1, 2 – расчет; 3, 4 – эксперимент; 1 – без подогрева штампа; 2 – с подогревом до 300°C ; 4 – внутренние слои заготовки

ваемой, как правило, из быстрорежущей стали Р6М5, и хвостовой части, изготавливаемой из углеродистой стали, может быть осуществлен либо при отдельном изготовлении режущей и хвостовой частей с последующим соединением их пайкой или сваркой трением, либо совместным горячим выдавливанием обеих частей. В последнем случае рабочая часть инструмента соединяется с хвостовой в процессе формообразования профиля путем внедрения одного материала в другой.

В соответствии с этим и наладка штампа осуществляется либо для выдавливания профильной части инструмента с образованием на пресс-остатке выдавленного профиля глухого отверстия (диаметр которого для метчика М24 составил 12 мм, длина – 12 мм), либо для выдавливания профильной части инструмента с одновременным внедрением в нее его хвостовой части. В первом случае использовали пуансон с цилиндрической или шестигранной иглой диаметром 12 мм, во втором случае пуансоном служил цилиндрический хвостовик диаметром 18 мм, имеющий на конце коническое заострение и устанавливаемый на нагретую заготовку через направляющую втулку.

В данной работе опробование работы штампа производили в обоих случаях после предварительного подогрева контейнера и матрицы штампа индуктором промышленной частоты до температуры 300°C . Как показали расчеты по приведенным формулам, при работе без предварительного подогрева штампа температура поверхности заготовки, предварительно нагретой до 1000°C , становилась на $50-70^\circ\text{C}$ ниже, чем в случае подогрева штампа. Такое понижение температуры приводит к резкому снижению пластических свойств быстрорежущей стали и существенному увеличению усилия деформирования. Последнее особенно важно при совместной деформации хвостовой и режущей частей, когда время контакта нагретой заготовки со штампом при ручной нагрузке заготовок возрастает до 3–5 с.