

сезонные изменения температуры фильтрующейся воды в пределах 20 °С могут приводить к отклонению значения коэффициента устойчивости в диапазоне  $\pm 7\%$  от значения, полученного без учета изменений температуры, при этом значение коэффициента устойчивости может понижаться ниже требуемого нормами проектирования.

### Литература

1. Корн, Г., Справочник по математике для научных работников / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 831 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам / под. ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
3. Дмитриев, С. В. Экспериментальное подтверждение решения задачи конвективного теплообмена в грунтовых сооружениях / С. В. Дмитриев // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Вип. 31. – Ровно: НУВГтП, 2006. – С. 133–138.

УДК 531.781.2

### **Оптимизация силового режима при скоростном ударном выдавливании биметаллических стержневых изделий**

Качанов И. В., Власов В. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Современное развитие промышленного производства требует применения высокопроизводительных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих получение готовой продукции с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В связи с этим большими потенциальными возможностями обладают техпроцессы, основанные на использовании высоких скоростей деформирования.*

Для реализации высокопроизводительных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих получение готовой продукции с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами может быть использован процесс скоростного горячего выдавливания (СГВ), создающий эффективные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов, широко используемых в тяжелом машиностроении, включая инструментальное производство. Эффективность СГВ дополнительно возрастает при изготовлении би- и триметаллического стержневого инструмента (толкателей, пуансонов, и т.д.) в режиме высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) [1, 2].

Однако для промышленного внедрения таких техпроцессов нужны сведения об оптимальных силовых режимах формоизменения, пиковых нагрузках, действующих на инструмент. Эти данные необходимы для расчета оптимальной энергии удара и подбора оборудования, способного развить данную энергию.

Рассмотрев известные решения, применительно к процессам как стационарного [3], так и нестационарного [4] скоростного прессования полосы, через клиновую матрицу, приведенным в работах [3, 4], авторы разработали рекомендации для расчета осесимметричной деформации (ОД). Для реализации перехода к ОД авторы этих работ рассматривали осесимметричную деформацию как суперпозицию двух переходов плоской деформации, реализуемых по схеме «круг-эллипс» и «эллипс-круг» в первом и втором переходах соответственно.

При этом считалось, что на первом переходе из цилиндрической заготовки диаметром  $D = 2R$  ( $R$  – радиус заготовки) выдавливается стержень эллиптического сечения с параметрами осей  $D = 2R$  и  $d = 2r$  (рис. 1, а). На втором переходе эллиптическая заготовка деформируется через круглое отверстие и превращается в цилиндрический пруток диаметром  $d = 2r$  (рис. 1, б).

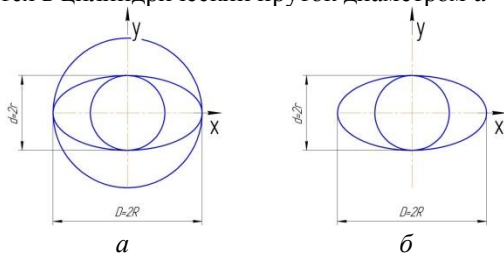


Рис. 1. Два перехода плоской деформации для моделирования формообразования в условиях ОД:  
 а – по схеме «круг-эллипс», б – по схеме «эллипс-круг»

На основании изложенного авторами, вместо достаточно сложного пересчета предлагается без снижения корректности переход от плоской к осесимметричной деформации в 2 этапа.

На первом этапе в зависимости для расчета усилия и мощности формоизменения, полученные для полосы с размерами  $A * b$  ( $A$  – высота заготовки,  $b$  – ширина, рис. 2, а) необходимо внести изменение. Суть изменения сводится к тому, что в рамках решения плоской задачи осуществляется формоизменение не прямоугольной полосы с площадью сечения  $f_n = A * b$ , а квадратной – с площадью  $f_{кв} = A^2$  (рис. 2, б).

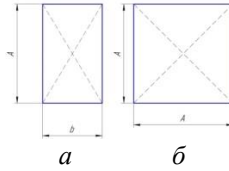


Рис. 2. Формы поперечных сечений заготовок, используемые для решения плоской задачи СГВ стержневых изделий:  
*a* – прямоугольная, *б* – квадратная

Очевидно, что кинематически возможное поле скоростей в части определения мощности формоизменения квадратной заготовки (в рамках принятых допущений) остается достаточно высокой.

Суть решения на 2-м этапе сводится к тому, что в полученных зависимостях для формоизменения квадратной заготовки площадь  $f_{кв} = A^2$  заменяют на равновеликую площадь круга  $f_{кр} = \pi D^2/4$  (рис. 3)

$$f_{кв} = f_{кр} \Rightarrow D = \frac{2A}{\sqrt{\pi}} = 1,128A \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр равновеликой осесимметричной заготовки, для которой рассчитывается усилие либо мощность формоизменения;  $A$  – сторона равновеликой по площади квадратной заготовки, используемая в решении плоской задачи (рис. 3).

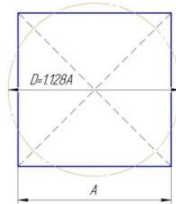


Рис. 3. Формы равновеликих площадей, квадратной и круглой заготовок, используемые для анализа ОД

Таким образом, используя полученное соотношение (1) по заданному из практических соображений диаметру  $D$  устанавливается площадь сечения квадратной заготовки  $A^2$ , а затем используя полученное решение плоской задачи рассчитываем силовой режим скоростного выдавливания для осесимметричной ступенчатой детали (рис. 4) с диаметром ступеней  $d_1, d_2, d_3$ , получаемой выдавливанием из исходной заготовки диаметром  $D$  и длиной  $L_3$ .

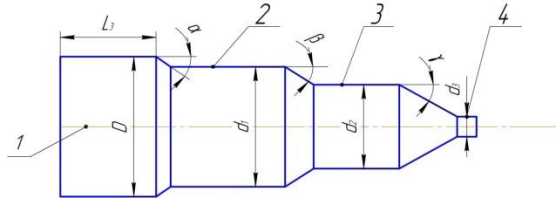


Рис. 4. Эскиз ассиметричной детали с диаметрами ступеней  $d_1, d_2, d_3$ , получаемой скоростным выдавливанием из исходной цилиндрической заготовки диаметром  $D$  и длиной  $L_3$

Для установления силового режима осесимметричной деформации используем теорию анализа процесса СГВ методом верхней оценки, применительно к получению плоскоступенчатой детали квадратного сечения со сторонами ступеней  $a_1, a_2, a_3$  из исходной заготовки квадратного сечения со стороной квадрата  $A$  и длиной заготовки  $L_3$ . В результате усилие  $P_{n1}$ , действующее на пуансон при выдавливании заготовки квадратного сечения из контейнера, через клиновую матрицу, можно определить по формуле:

$$P_{n,1} = \frac{A^2 \left\{ K \left[ F_1(\lambda_1, \mu_1, \alpha) + 4\mu \left( \frac{L_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n1}}{A} - \frac{h_{n1}}{A} \right) \right] + \rho V_{01}^2 [F_1(\lambda_1, \mu_1, \alpha)] \right\} M}{M + \rho A^3 \left[ F_3(\lambda_1, \mu_1, \alpha) + \frac{L_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n1}}{A} - \frac{h_{n1}}{A} \right]} \quad (2)$$

Разделив левую и правую части полученного выражения на площадь заготовки с квадратным сечением ( $S_3 = A_2$ ) получим выражение для расчета удельного усилия, действующего на пуансон при формоизменении заготовки в ОД1:

$$p_{n,1} = \frac{K \left[ F_1(\lambda_1, \mu_1, \alpha) + 4\mu \left( \frac{L_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n1}}{A} - \frac{h_{n1}}{A} \right) \right] + \rho V_{01}^2 [F_2(\lambda_1, \mu_1, \alpha)]}{\left\{ 1 + \rho A^3 \left[ F_3(\lambda_1, \mu_1, \alpha) + \frac{L_3}{A} + \frac{\lambda_1^2 h_{n1}}{A} - \frac{h_{n1}}{A} \right] \right\} * M^{-1}} \quad (3)$$

Из анализа выражений (2) и (3) видно, что на величину усилия  $P_{n,1}$  и удельного усилия  $p_{n,1}$  влияют силы внутреннего сопротивления на поверхностях разрыва трения, динамические напряжения на поверхностях разрыва скорости, а также силы инерции от движения масс заготовки. Из выражения (3) видно, что с ростом массы стержневой части на выходе из ОД1 происходит снижение нагрузки, действующей на пуансон.

## Литература

1. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. – Мн: УП «Технопринт», 2002. – 327 с.
2. Качанов, И. В. Ресурсосберегающая технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента / И. В. Качанов, В. Н. Шарий, В. В. Власов // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 1. – С. 3–9.
3. Томленов, А. Д. Теория пластинчатого деформирования металлов / А. Д. Томленов. – М: Металлургия, 1972. – 408 с.
4. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов. – Мн: УП «Технопринт», 2002. – 327с.

УДК 631.67

### **К определению коэффициента недостатка насыщения грунтов при подпочвенном увлажнении**

Селезнев В. И., Казьмирук Д. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*На основании детального анализа эмпирических и теоретических данных получено уравнение зависимости коэффициента недостатка насыщения торфа от режимобразующих факторов. В статье освещается необходимость разделять понятия коэффициента недостатка насыщения грунтов и удельной водоотдачи.*

В настоящее время большое внимание уделяется реконструкции существующих осушительно-увлажнительных систем на торфяно-болотных маломощных почвах, которые занимают площадь около 922 тыс. га сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь [1].

При определении расстояний между дренами необходимо учитывать сезонные факторы, поэтому в формулы расстояний между дренами-осушителями входит параметр водоотдачи грунтов, а между дренами-увлажнителями – недостаток насыщения грунтов. В условиях неглубокого залегания грунтовых вод, меньших мощности капиллярной каймы коэффициент недостатка насыщения грунта  $\mu$  не будет равен коэффициенту водоотдачи  $\delta$ , так как  $\mu$  зависит от профиля влажности до и после колебания УГВ.

Во многих действующих нормативных документах по проектированию и реконструкции гидромелиоративных систем коэффициент недостатка насыщения почв принят равным коэффициенту водоотдачи, что справедливо для