

$$\begin{cases} y_B = k_{AB} \cdot x_B \\ y_B = k_{BC} \cdot x_B + b_{BC} \end{cases} \quad (10)$$

На основании полученных результатов используя формулу Гаусса можно определить площадь сечения котлована

$$F = \frac{1}{2} |x_A y_B + x_B y_C + x_C y_D + x_D y_A - y_A x_B - y_B x_C - y_C x_D - y_D x_A|. \quad (11)$$

Для определения объема котлована полученную площадь поперечного сечения необходимо умножить на среднюю линию трапеции продольного сечения  $S$  (см. рис. 1), проходящего по горизонтали, которую можно определить по следующей зависимости

$$S = L_K^H + m \cdot H_K, \quad (12)$$

Таким образом объем котлована  $V_{\text{кот}}$  можно найти по формуле

$$V_{\text{кот}} = F \cdot S. \quad (13)$$

### **Выводы**

Математического метода (автор Левицкий А.А.) дает нулевую погрешность по сравнению с расчетом объема котлована по САПР AutoCAD. Следует отметить, что расчет по САПР AutoCAD основан на подсчете объема который равен реальному объему вынутаго грунта, поэтому предложенный метод расчета имеет высокую точность.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Производство земляных работ при устройстве фундаментов / сост. Е.Г. Кремнева – Минск, 2008. – 172 с.

УДК 531.781.2

Ковалёнок Н.А., Быков, К.Ю

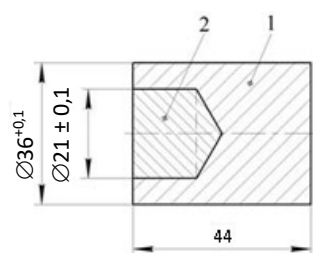
Научные руководители: Качанов И.В, Ленкевич С.А.

*Белорусский национальный технический университет*

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ**

Реализация процесса изготовления дорожных резцов заключается в скоростном деформировании предварительно нагретых составных заготовок (рис. 1), состоящих из корпуса резца и его рабочей части. Основой заготовки

(корпуса резца) может служить конструкционная легированная сталь 40X или 5XНМ, а в качестве рабочей части (наконечника) – быстро-режущие стали Р18, Р6М5, а также высоколегированные штамповые стали ДИ23, 5ХНМ, 3Х2В8Ф [2, 5]



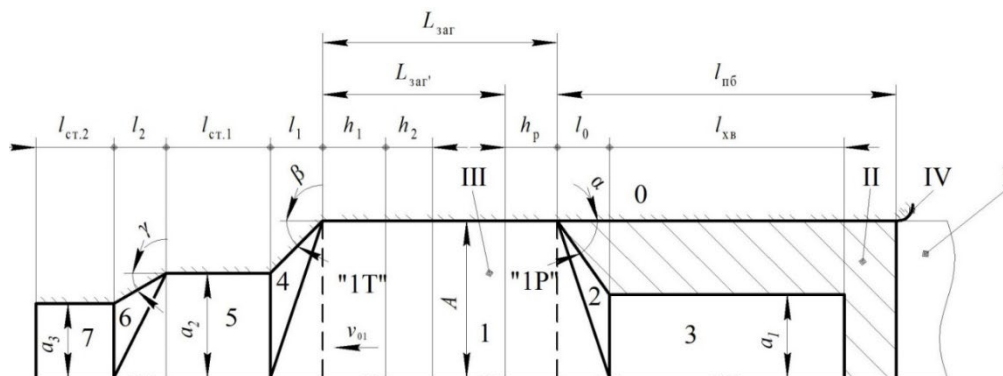
1 – корпус резца; 2 – рабочая часть

**Рисунок 1 – Схема соединения заготовки**

Для исследования скоростного пластического течения металла при формообразовании плоских биметаллических дорожных резцов была разработана модель динамического взаимодействия системы «пуансон – деформируемая заготовка».

В качестве основного метода исследований пластического формоизменения был выбран приближенный энергетический метод — метод верхней оценки.

Для расчета усилия  $P_n$ , воспринимаемого пуансоном в процессе выдавливания, было использовано кинематически возможное поле скоростей, преобразованное из действительного непрерывного поля линий скольжения (рисунок 1) путем линейной аппроксимации. Принятое поле скоростей состояло из недеформируемых блоков 0-7, в котором пластические области сосредоточены в треугольных зонах 2, 4, 6 и характеризуется постоянными значениями скорости и ускорения для всех точек указанных блоков, относительно неподвижной области [1–5].



I – пуансон; II – промежуточный боек; III – заготовка; IV – полуматрица [1]

**Рисунок 1 – Кинематически возможное поле скоростей при скоростном выдавливании биметаллических дорожных резцов**

Стоит отметить, что в ходе решения поставленной задачи процесс выдавливания разделялся на две стадии: стадию разгона ( $P_{п.р.}$ ) и стадию торможения, состоящую из двух этапов ( $P_{п1}$  и  $P_{п2}$ ). Отличительной особенностью стадии разгона является то, что она позволяет провести анализ обратного выдавливания, в процессе которого металл течет в направлении противоположном ходу пуансона [1].

Для нахождения усилия  $P_{п}$  воздействующего на пуансон на каждой стадии процесса, используя геометрические размеры пуансона  $2A$ ,  $b$ ; коэффициенты вытяжки  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ; параметры поля  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , были выражены границы блоков  $l_{rs}$ , определены массы блоков  $m_i$  и установлены соотношения между кинематическими параметрами точек деформируемой заготовки ( $v_{rs}$ ,  $(v_n)_{rs}$ ,  $\omega_i$ ,  $\omega_i$ ) и блока 1 ( $v_{01}$ ,  $\omega_{01}$ ) [1, 2, 6].

Усилие, действующее на пуансон в процессе выдавливания, находилось из уравнения баланса мощностей внутренних и внешних сил [1, 2]:

$$W_{п} = W_{с.с} = W_{соб} + W_{дин} \pm W_{ин}, \quad (1)$$

где  $W_{п}$  – мощность движущегося пуансона;  $W_{с.с}$  – суммарная мощность сил сопротивления;  $W_{соб}$  – мощность сил собственного сопротивления металла деформированию;  $W_{дин}$  – мощность от действия динамических напряжений на поверхностях разрыва скоростей;  $W_{ин}$  – мощность локальных сил инерции движущейся заготовки.

После определения, по известным зависимостям [2], всех составляющих мощности из уравнения (1), для каждой стадии процесса выдавливания, определялись оптимальные значения углов матричной полости  $\alpha_{opt}$ ,  $\beta_{opt}$ ,  $\gamma_{opt}$ , при которых значения мощности сил собственного сопротивления имеют минимальные значения.

Полученные зависимости для определения оптимальных углов матричной полости  $\alpha_{opt}$ ,  $\beta_{opt}$ ,  $\gamma_{opt}$  имеют вид [1]:

$$\alpha_{opt} = \arccos \sqrt{\frac{2\lambda_1^2\mu + \lambda_1^2 - 2\lambda_1\mu - 2\lambda_1 + 1}{4\lambda_1^2\mu + 2\lambda_1^2 - 4\lambda_1\mu - \lambda_1 + 1}}. \quad (2)$$

$$\beta_{opt} = \arccos \sqrt{\frac{2\lambda_2^2\mu + \lambda_2^2 - 2\lambda_2\mu - 2\lambda_2 + 1}{4\lambda_2^2\mu + 2\lambda_2^2 - 4\lambda_2\mu - \lambda_2 + 1}}. \quad (3)$$

$$\gamma_{opt} = \arccos \sqrt{\frac{2\lambda_3^2\mu + \lambda_3^2 - 2\lambda_3\mu - 2\lambda_3 + 1}{4\lambda_3^2\mu + 2\lambda_3^2 - 4\lambda_3\mu - \lambda_3 + 1}}. \quad (4)$$

В выражениях (2)-(4)  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  – коэффициенты вытяжки,  $\mu$  – коэффициент контактного трения.

Затем проведя ряд преобразований с использованием полученных уравнений (2)-(4) были определены зависимости для расчета минимальных

верхнеграницных усилий  $P_{п.р., min}$ ,  $P_{п1, min}$  и  $P_{п2, min}$ , воспринимаемых пуансоном на каждом этапе процесса [1]:

$$P_{п.р., min} = \frac{2AbM \left\{ k \left[ F_{1, opt}(\alpha, \lambda_1, \mu) + 2\mu h_p \frac{\lambda_1^2 + 1}{A} \right] + \rho v_0^2 F_{2, opt}(\alpha, \lambda_1) \right\}}{M - 2A^2 b \rho \left( F_{3, opt}(\alpha, \lambda_1) + h_p \frac{\lambda_1^2}{A} + \frac{L_{п6} \rho_{п6}}{A \rho} \right)} \quad (5)$$

$$P_{п1, min} = \frac{2AbM \left\{ k \left[ F_{4, opt}(\beta, \lambda_2, \mu) + 2\mu \left( \frac{L_{зар'} - h_1}{A} + h_1 \frac{\lambda_2^2}{A} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{5, opt}(\beta, \lambda_2) \right\}}{M + 2A^2 b \rho \left( F_{6, opt}(\alpha, \beta, \lambda_1, \lambda_2) + \frac{L_{зар'} - h_1}{A} + h_1 \frac{\lambda_1^2}{A} + \frac{L_{п6} \rho_{п6}}{A \rho} - \frac{h_p}{A} \right)} \quad (6)$$

$$P_{п2, min} = \frac{2AbM \left\{ k \left[ F_{4, opt}(\beta, \lambda_2, \mu) + 2\mu \left( \frac{L_{зар'} - h_1 - h_2}{A} + h_2 \frac{\lambda_2^2}{A} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{5, opt}(\beta, \lambda_2) \right\}}{M + 2A^2 b \rho \left( F_{6, opt}(\alpha, \beta, \lambda_1, \lambda_2) + \frac{L_{зар'} - h_1 - h_2}{A} + h_2 \frac{\lambda_1^2}{A} + \frac{L_{п6} \rho_{п6}}{A \rho} - \frac{h_p}{A} \right)} + \frac{2AbM \left\{ k \left[ F_{7, opt}(\gamma, \lambda_3, \mu) + 2\mu \left( h_2 \frac{\lambda_2^2 (\lambda_3^2 + 1)}{A} \right) \right] + \rho v_0^2 F_{8, opt}(\gamma, \lambda_2, \lambda_3) \right\}}{M + 2A^2 b \rho \left( F_{9, opt}(\gamma, \lambda_3) + h_2 \frac{\lambda_2^2 (\lambda_3^2 + 1)}{A} \right)} \quad (7)$$

Таким образом, полученные зависимости описывают силовой режим пластического течения металла при формообразовании плоских биметаллических дорожных резцов. Полученные уравнения являются в высокой степени корректными и могут быть использованы при разработке промышленной технологии скоростного, комбинированного, горячего выдавливания биметаллических дорожных резцов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Быков, К. Ю. Силовой режим скоростного комбинированного выдавливания плоских биметаллических дорожных резцов / К. Ю. Быков, И. В. Качанов, И. М. Шаталов // НАУКА и ТЕХНИКА. – 2021. – Т. 20, №4. – С. 287-295.
2. Здор, Г. Н. Технология высокоскоростного деформирования материалов / Г. Н. Здор, Л. А. Исаевич, И. В. Качанов. – Минск: БНТУ, 2010. 456 с.
3. 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. 3–8.

4. Тутышкин, Н. Д. Соотношение на разрывах при динамической плоской деформации / Н. Д. Тутышкин // Технология машиностроения. – Тула, 1972. – Вып. 29 – С. 56–66.
5. Алюшин, Ю. А. Теория обработки металлов давлением / Ю. А. Алюшин – Ростов-н/Д: изд-во РИСХМА, 1972. – 85 с.
6. Качанов, И. В. Оптимизация режима нагружения при скоростном ударном выдавливании биметаллических плоскоступенчатых стержневых изделий / И. В. Качанов, В. В. Власов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. акад. навук. - 2018. - Т. 63, №1. - С. 43-52.

УДК 532.59

Комзолова Д.С., Смагин И.А.

Научные руководители: Шаталов И.М., Щербакова М.К.

*Белорусский национальный технический университет*

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПРИ ПРОРЫВЕ  
НАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ  
ВЫСОКОГОРЬЯ**

Неустановившееся движение потока воды в открытых руслах (реках и каналах) может возникать при прорыве плотин; в результате маневрирования затворами гидротехнических сооружений (шлюзов, водозаборов, гидроэлектростанций и т.д.); включения и выключения насосных станций. При этом неустановившееся движение в открытых руслах чаще всего принимает форму волны перемещения прямой или обратно, положительной или отрицательной [1].

Волны перемещения в этих случаях имеют строго направленное продольное движение (рис.1).

Для теоретического анализа и расчета такого движения обычно принимают плотность воды  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) постоянной, а русло достаточно широким, т.е.  $B \gg h$  (где  $B$ , м – ширина русла по урезу воды;  $h$ , м – глубина потока) и поперечное сечение русла близким к прямоугольной форме, а неустановившееся движение сравнивается с установившимся равномерным движением воды при котором силы трения и поверхность потока уравниваются проекцией силы тяжести, действие которой обусловлено продольным уклоном водотока.