

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МОЛОТОВ МОДИФИКАЦИЙ ВСМ-2 И ВСМ-4

© 2006 Ю.Н. Краснов, М.Ш. Калимулин, Р.Р. Орлов

Самарский государственный аэрокосмический университет,  
ОАО "Моторостроитель", г. Самара

В данной статье авторами исследованы энергетические и силовые параметры бесшаботных высокоскоростных молотов модификаций ВСМ-2 и ВСМ-4, используемых для получения точных заготовок деталей авиационных двигателей. Предложена схема работы молота, при которой деформирование производится поршнем (прижимом) при его ускоренном ходе от гидропривода аккумулятора. Для молота ВСМ-2 разработана схема работы, при которой достигается значительное уменьшение энергии удара за счет перекрытия газовых каналов.

В производстве заготовок деталей газотурбинных двигателей (ГТД) в зависимости от их конструкции, геометрических размеров и материала используется разнообразное деформирующее оборудование.

Так, для получения точных заготовок малогабаритных лопаток (рис.1) из жаропрочных сплавов (типа ЭП-718ИД) в настоящее время используются: кривошипный пресс (предварительное фасонирование заготовки), электровинтовой пресс (штамповка и калибровка), эксцентриковый пресс (обрезка облоя). При этом для получаемой заготовки КИМ составляет 0,3.



Рис.1. Рабочая лопатка компрессора

Метод высокоскоростной штамповки (ВСШ) обеспечивает получение за одну деформирующую операцию более точных за-

готовок (КИМ 0,45) из теплостойких сталей и титановых сплавов.

По сравнению с другим кузнечно-прессовым оборудованием высокоскоростные молоты (ВСМ) имеют ряд преимуществ:

- в несколько раз меньше габариты;
- при одинаковой энергии деформирования ВСМ легче штамповочных молотов в 3-5 раз, гидравлических прессов в 10-20 раз и обычных паровоздушных или пневматических молотов в 10-15 раз;
- высокая скорость деформирования (до 40 м/с) и возможность точного дозирования энергии позволяют повысить пластичность штампуемого материала за счет воздействия инерционных сил, уменьшения контактного трения, улучшения температурного режима штамповки;
- наличие нижнего выталкивателя;
- наличие устройства для автоматического создания предварительного напряженного состояния штампа;
- более низкий уровень шума при работе.

Указанные преимущества позволяют изготавливать практически из всех известных марок металлов, сплавов и металлопорошков детали и точные заготовки сложной формы [2].

Вместе с тем, из-за низкой скорости разупрочнения и склонности к повышенному деформационному упрочнению горячее деформирование сплава ЭП-718ИД (ХН45МВТЮБР-ИД) усложняется [1]. Как показали проведенные эксперименты на ОАО "Моторостроитель", при высокоскоростном выдавливании заготовок лопаток из

сплава ЭП-718ИД на имеющемся оборудовании – бесшаботных высокоскоростных молотах (типа К05.504, ВСМ-2, ВСМ-4), происходит расслоение материала, образование трещин на пере, отрыв пера. При снижении скорости деформации количество дефектов уменьшается.

Изменением давления газа и массы подвижных частей высокоскоростных молотов К05.504, ВСМ-2, ВСМ-4 можно изменять энергию удара в пределах соответственно 15...25; 15,7...24,5; 39,2...61,8 кДж, при этом скорость деформирования меняется незначительно и составляет 35...40 м/с.

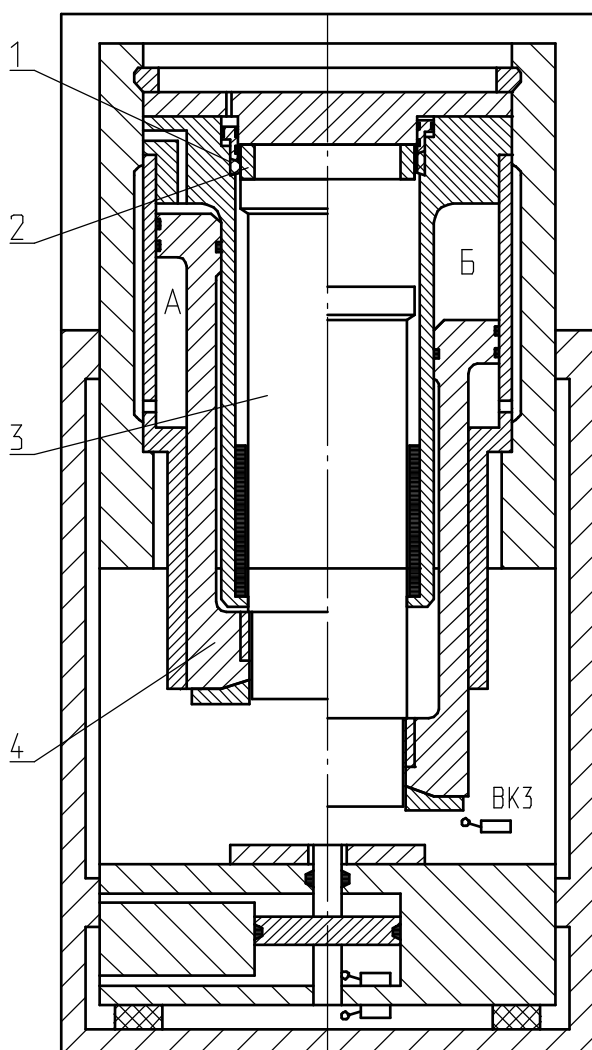


Рис.2. Принципиальная схема молота ВСМ-4

Для получения заготовок без дефектов необходимо достичь скорости деформирования соизмеримой со скоростью электровинтового или кривошипного прессов и точного дозирования энергии удара. Для этого было предложено изменить схему ра-

боты молота – удар производится не бабой, как обычно, а прижимом на ускоренном ходе от гидропривода и газоаккумулятора.

На рис. 2 приведена принципиальная схема молота ВСМ-4. Предварительно были проведены некоторые конструктивные изменения молота: в зоне сцепления бабы установлена проставка (2), исключая зацепление бабы (3) "удавкой" (1), в результате этого баба постоянно "висит" на прижиме (4) и перемещается вместе с ним. На прижиме крепится пуансон.

В соответствии с предложенной схемой молот работает следующим образом. Перед ударом от насоса производится зарядка аккумулятора. При нажатии кнопки "Удар" открываются клапаны, и масло под действием давления газа из аккумулятора и от насоса поступает в поршневую полость молота (А). Поршень с бабой – опускаются. В конце хода поршня нажимается выключатель ВКЗ – разрядка аккумулятора прекращается. Масло в поршневую полость молота подается только насосом и его давление увеличивается до 200 МПа. Затем открывается клапан, и масло из поршневой полости сливается в бак, поршень вместе с бабой под действием давления газа поднимается в верхнее положение. Происходит выталкивание отштампованной заготовки. После извлечения заготовки, смазки гравюры и укладки заготовки в штамп цикл повторяется.

Регулирование энергетических параметров деформирования достигается за счет изменения хода прижима, а также исходных давлений в газовой камере молота (А) и ресивере аккумулятора.

Была определена зависимость усилия деформирования поршнем молотов ВСМ-2 и ВСМ-4 от их хода (рис. 3).

Сила давления поршня молота в положении  $x$  возникает от действия сил давления масла на поршень  $P'_m(x) \cdot S_m$ , давления газа на бабу молота  $P_{гк}(x) \cdot S_б$  и противодействия газа на поршень  $P_{гк}(x) \cdot S_{гк}$ .

$$F(x) = P'_m(x) \cdot S_m - P_{гк}(x) \cdot S_{гк} + P_{гк}(x) \cdot S_б$$

$$P'_m(x) = P_m(x) - \Delta P,$$

где  $\Delta P = P_m(x) - P'_m(x)$  – потери давления при перетекании масла из аккумулятора в поршневую полость молота по трубопроводу.

$$P_{ак}(x) \cdot S_{ак.Г} = P_M(x) \cdot S_{ак.М}$$

$$P_M(x) = P_{ак}(x) \cdot \frac{S_{ак.Г}}{S_{ак.М}}$$

$$F(x) = (P_M(x) - \Delta P) \cdot S_M - P_{ГК}(x) \cdot (S_{ГК} - S_{\delta})$$

$$F(x) = P_{ак}(x) \cdot \frac{S_{ак.Г}}{S_{ак.М}} \cdot S_M - \Delta P \cdot S_M -$$

$$- P_{ГК}(x) \cdot (S_{ГК} - S_{\delta})$$

$$P_{ГК}(x) = P_{ГК}^0 \cdot \left( \frac{V_{ГК}^{max}}{V_{ГК}(x)} \right)^n$$

$$P_{ГК}(x) = P_{ГК}^0 \cdot \left( \frac{V_{ГК}^{max}}{V_{ГК}^{max} - x \cdot (S_{ГК} - S_{\delta})} \right)^n$$

$$P_{ак}(x) = P_{ак}^{max} \cdot \left( \frac{V_{ак}^{min}}{V_{ак}(x)} \right)^n$$

$$P_{ак}(x) = P_{ак}^{max} \cdot \left( \frac{1}{1 + \frac{0,92 \cdot x \cdot S_{ак.Г}}{V_{ак}^{min}}} \right)^n$$

$$F(x) = P_{ак}^{max} \cdot \left( \frac{1}{1 + \frac{0,92 \cdot x \cdot S_{ак.Г}}{V_{ак}^{min}}} \right)^n \cdot \frac{S_{ак.Г} \cdot S_M}{S_{ак.М}} -$$

$$\Delta P \cdot S_M - P_{ГК}^0 \cdot \left( \frac{V_{ГК}^{max}}{V_{ГК}^{max} - x \cdot (S_{ГК} - S_{\delta})} \right)^n \cdot (S_{ГК} - S_{\delta})$$

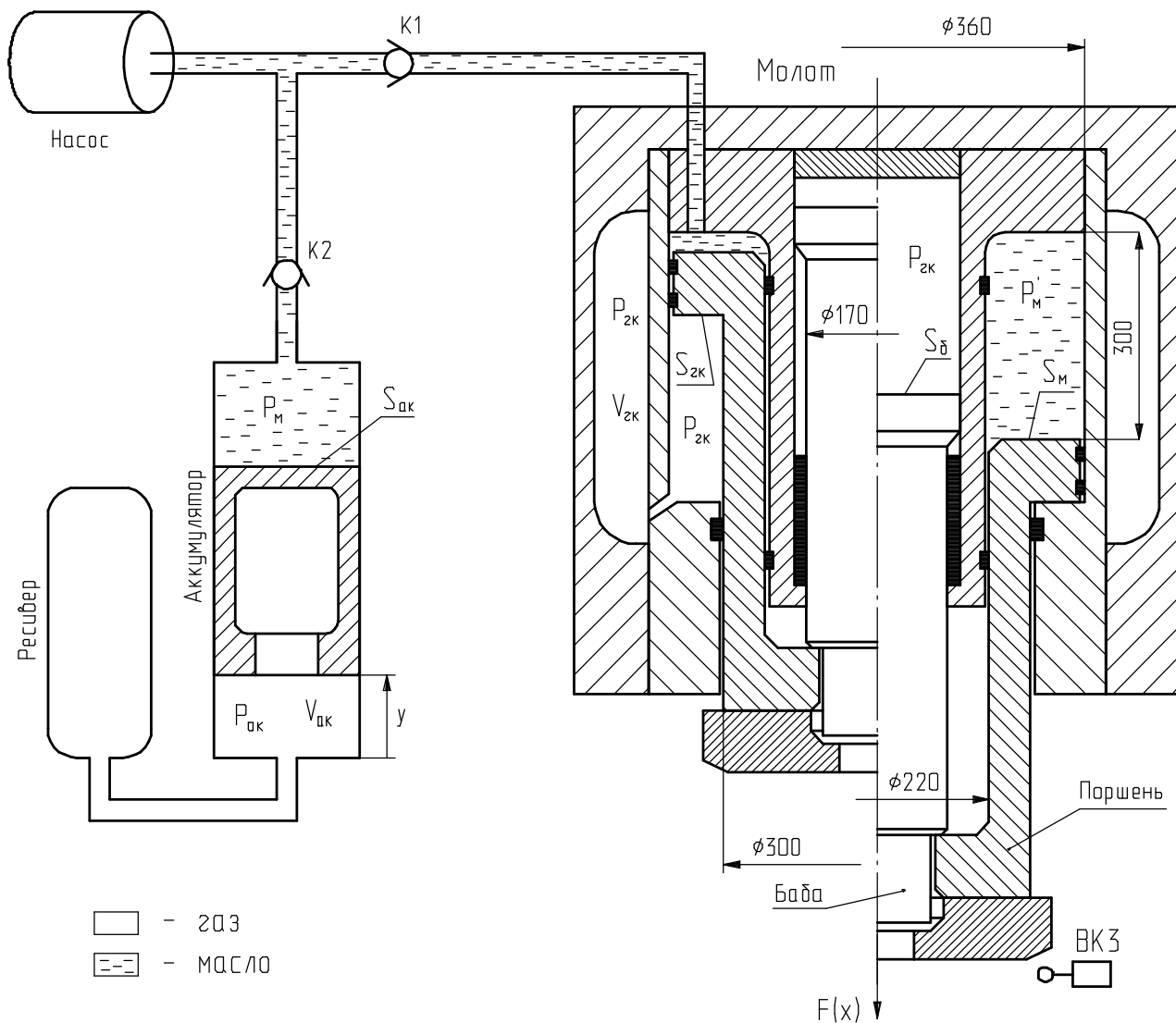


Рис.3. Схема работы молота ВСМ-4

По этой зависимости для исходных давлений в газовой камере молота ( $P_{ГК} = 30, 80, 120$  МПа) и максимального давления газа в аккумуляторе ( $P_{ак}^{max} = 100$  и  $150$  МПа) построены диаграммы (рис. 4 и 5).

После разрядки аккумулятора давление в масляной камере молота повышается гидронасосом до  $P_M^{max}$ . При этом сила давления поршня молота достигнет:

$$F_{max}(x) = P_M^{max} \cdot S_M - P_{ГК}(x) \cdot S_{ГК} + P_{ГК}(x) \cdot S_б = P_M^{max} \cdot S_M - P_{ГК}(x) \cdot (S_{ГК} - S_б) = P_M^{max} \cdot S_M - P_{ГК}^0 \cdot \left( \frac{V_{ГК}^{max}}{V_{ГК}^{max} - x \cdot (S_{ГК} - S_б)} \right)^n \cdot (S_{ГК} - S_б).$$

Используя приведенные уравнения, написана программа для автоматического расчета энергетических параметров молота в зависимости от исходных данных (давление газа в аккумуляторе, давление газа в рабочей камере молота, ход поршня).

Таким образом, изменяя исходные давления газа в ресивере аккумулятора и газовой камере молота, на разной величине хода поршня можно дозировать силу удара в диапазоне от 842 до 398 кН.

Для рассчитанной энергии деформирования заготовки по диаграммам на рис. 4 и 5 можно определить необходимые исходные параметры высокоскоростного молота.

Кроме того, в некоторых случаях есть необходимость при высоких скоростях деформирования значительно снизить энергию удара молота.

В частности, заготовки лопаток направляющего аппарата 11-15 ступеней ГТД НК-14СТ-10 изготавливаются на ВСМ за три перехода (рис. 6). В третьем переходе производится высадка верхней полки заготовки лопатки в разъемном штампе. Для этого перехода необходимо снизить энергию удара до 7...9 кДж.

Кинетическая энергия, приобретаемая пуансоном (бабой) под действием сжатого газа, определяется по формуле

$$E = P \cdot F \cdot H, \text{ где}$$

$P$  – давление газа в рабочей камере;

$F$  – площадь поперечного сечения пуансона;

$H$  – ход разгона пуансона.

Величина  $H$  может изменяться в сто-

рону уменьшения незначительно из условия свободной загрузки и извлечения заготовки из штампа.

Для изменения величины  $F$  необходимо изготовление новых узлов высокоскоростного молота – "ствола" и "пуансона", что позволяет лишь незначительной (в 1,4 раза) снизить энергию удара. К тому же, процесс изготовления, демонтажа и монтажа указанных узлов молота характеризуется большой трудоемкостью.

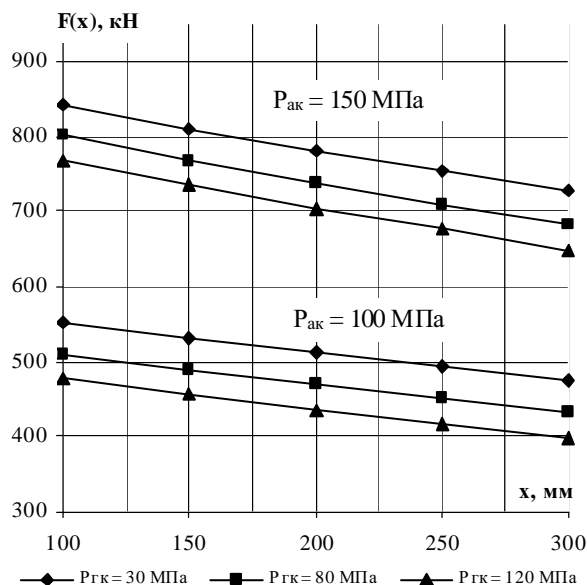


Рис.4. Диаграмма изменения усилия деформирования молота ВСМ-4

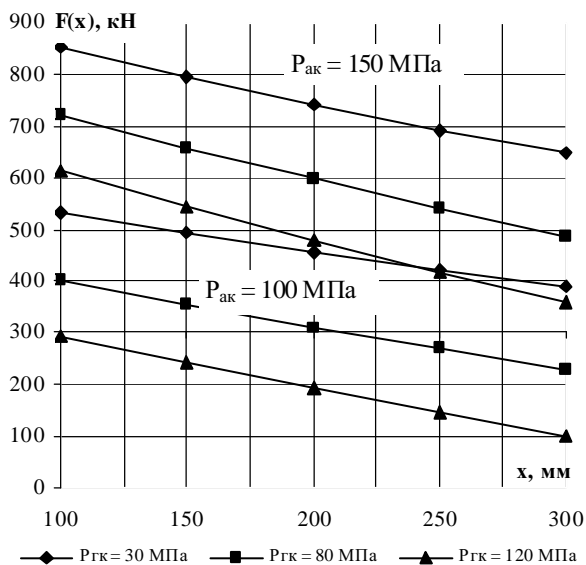


Рис.5. Диаграмма изменения усилия деформирования молота ВСМ-2

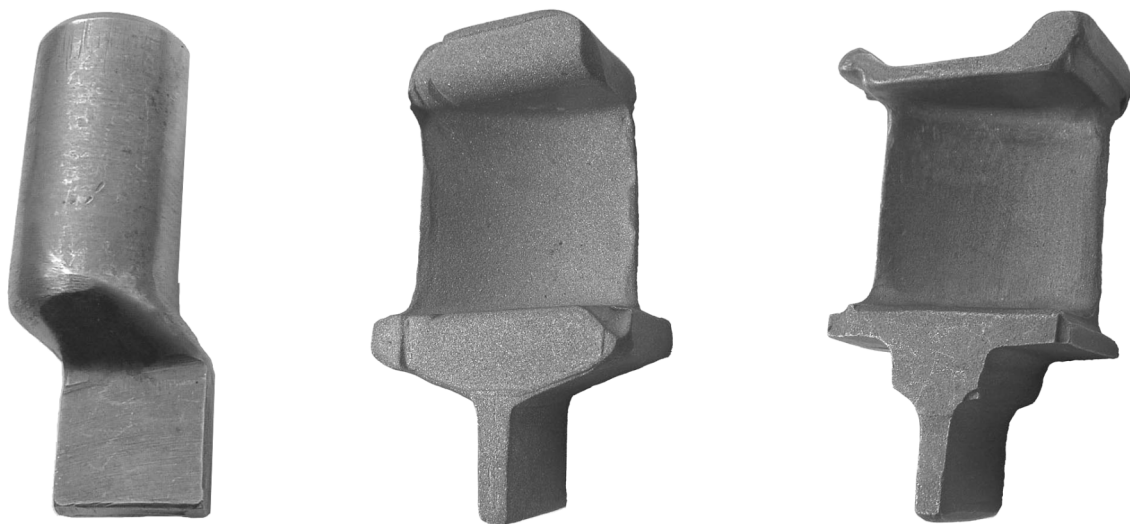


Рис.6. Штамповки 1, 2, 3 переходов

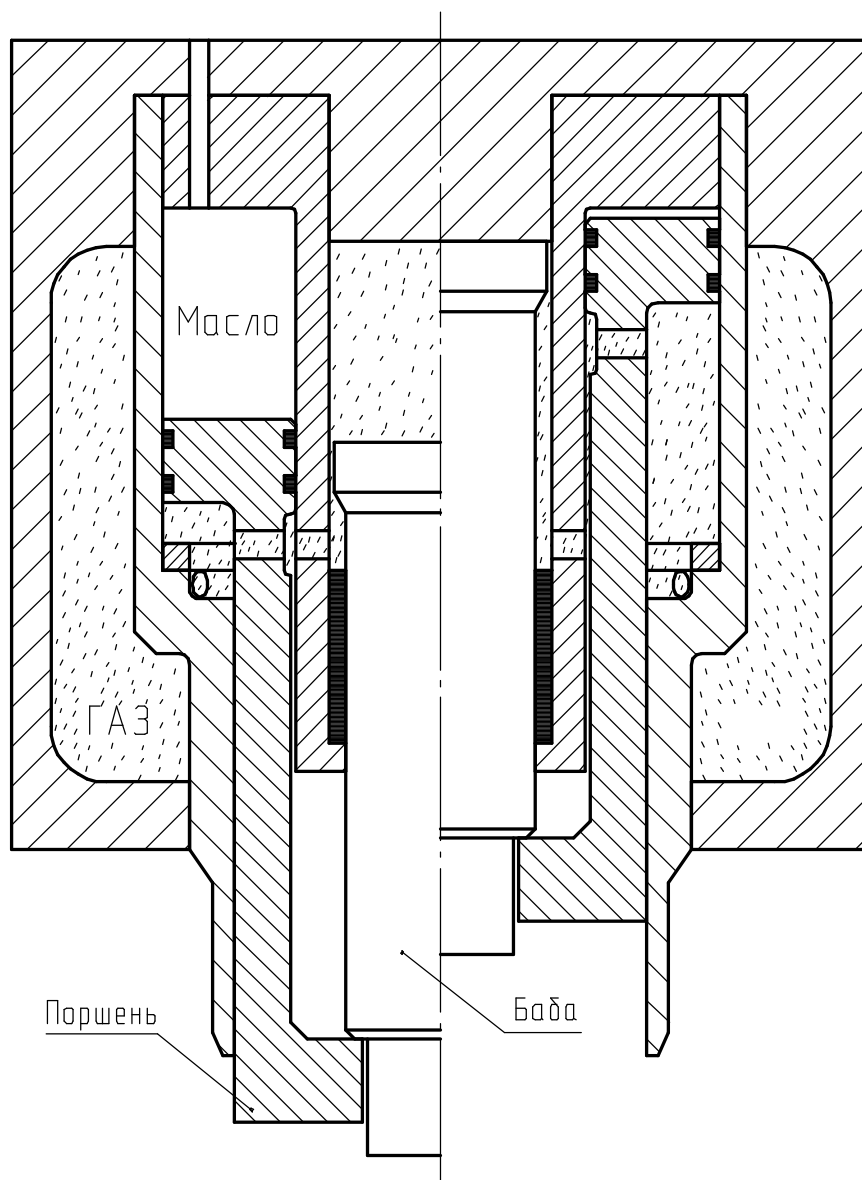


Рис.7. Узел рамы молота ВСМ-2

Следовательно, варьировать величину энергии удара можно лишь уменьшением давления газа в рабочей камере молота. Однако, механизм сцепления пуансона молота работает при давлении не ниже 30 МПа, что соответствует энергии удара 9 кДж.

Анализ конструкции узла рамы молота ВСМ-2 позволил найти более простое решение этой проблемы (рис. 7). При уменьшении хода поршня прижима (на 35 мм) за счет установки дополнительной подштамповой плиты, происходит перекрытие газовых каналов ствола – газовая полость над пуансоном отделяется от газовой камеры молота. Газ из камеры молота поступает в полость бабы через зазор между наружным диаметром поршня и внутренним диаметром ствола. Таким образом, происходит дросселирование расхода газа.

Для проверки этого предположения было проведено опытное определение энергии удара при осадке крешеров. Осредненная кинетическая энергия пуансона составила 8,4 кДж.

Таким образом, за счет перекрытия газовых каналов ствола молота ВСМ-2 удалось уменьшить кинетическую энергию удара пуансона в 2 раза.

В результате проведенных работ в хо-

де исследований энергосиловых параметров бесшаботных высокоскоростных молотов ВСМ-2 и ВСМ-4 расширен диапазон режимов их работы:

- режим высокоскоростного деформирования (обычная работа);
- режим гидравлического пресса (работа прижима от гидронасоса);
- режим электровинтового или кривошипного пресса (работа прижима от аккумулятора и гидронасоса);
- режим электровинтового или кривошипного пресса с последующей доштамповкой ударом бабы молота (последовательная работа прижима и бабы молота).

#### Список литературы

1. Ю.И. Гончар, И.Р. Хаймович, А.И. Бугаров. Особенности высокоскоростного выдавливания заготовок лопаток из сплава ХН45МВТЮБР-ИД //Авиационная промышленность № 9, М.: Машиностроение, 1986. – С. 25-26.

2. Матвиец П.П. Конструкция и характеристики высокоскоростных молотов, серийно выпускаемых отечественной промышленностью //Авиационная промышленность, М.: Машиностроение, 1986. – Приложение № 3. С. 27-29.

## EXAMINATION OF ENERGY AND POWER PARAMETERS OF HIGH-SPEED TUPS OF MODIFICATIONS VSM-2 AND VSM-4

© 2006 J.N. Krasnov, M.S. Kalimulin, R.R. Orlov

Samara State Aerospace University,  
Public corporation "Motorostroitel"

In the given article authors explore energy and power parameters of high-speed counterblow hammers of modifications VSM-2 and VSM-4, exact workpieces of component parts of aero-engines used for obtaining. The scheme of operation of a tup at which the warping is yielded by the piston (collet) at its accelerated course from a hydraulic control of the secondary generator is offered. The scheme of operation at which the significant diminution of an impact energy due to flooring gas channels is reached is developed for tup VSM-2.