

5. **Сторожев, М.В.** Теория обработки металлов давлением. Учеб. для студентов вузов / М.В. Сторожев, Попов Е.А. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 423с.

6. **К вопросу регистрации силовых параметров при высокоскоростном деформировании** / И.В. Качанов [и др.] // *Металлургия*: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: Выш. школа, 1977. – Вып. 10. – С. 75–81.

УДК 621.7.044

**И.В. КАЧАНОВ**, д-р техн. наук,  
**М.В. КУДИН**, канд. техн. наук,  
**С.А. ЛЕНКЕВИЧ** (БНТУ)

## **ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ МЕТОДОМ СКОРОСТНОГО ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ**

Конкурентоспособность промышленной продукции Республики Беларусь предопределяет необходимость разработки и применения малоотходных ресурсосберегающих технологий. В этой связи актуально создание новых технологий для получения недорогих, но в то же время качественных (с повышенными эксплуатационными свойствами) формообразующих деталей штамповой оснастки.

Анализ технологических процессов изготовления формообразующих деталей показывает, что 40–75 % от общего времени изготовления идет на образование полости [1, 2].

Известные способы изготовления формообразующих полостей в деталях технологической оснастки методом холодного и полугорячего выдавливания исчерпали свои возможности в части обработки высокоуглеродистых и легированных сталей из-за высоких удельных давлений выдавливания. В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы скоростного горячего выдавливания.

Поскольку высокоскоростная штамповка обеспечивает получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, она

может быть использована как технологический процесс изготовления штампового инструмента [2]. Кроме того, используя метод скоростного горячего выдавливания, можно получать биметаллический инструмент, основой для которого являются конструкционные стали, а рабочую полость возможно выполнять из высоколегированных инструментальных сталей, обосновывая их значительную экономию (до 90 %).

Для проведения исследований были выбраны типовые штамповые стали, используемые в горячих цехах (5ХНМ) и холодновысадочных цехах (Х12МФ). В качестве материала основы использовали легированную конструкционную сталь 40Х.

Исследование геометрии инструмента, сопрягаемых поверхностей и схем нагружения процесса скоростного горячего выдавливания формообразующих деталей проводилось на вертикальном копре.

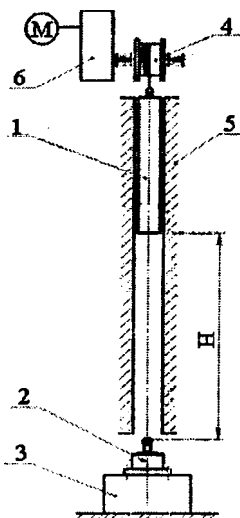


Рисунок 1 – Схема вертикального копра

Представленная на рисунке 1 схема вертикального копра включает ударный боек 1, которым осуществляется ударное воздействие на штамп 2, закрепленный на нижней плите 3. Подъем бойка 1 на

высоту  $H$  осуществляется подъемным механизмом 4 по направляющим 5 посредством привода 6. Рабочее положение вертикального копра заключается в поднятии ударного бойка 1 на высоту  $H$ . При срабатывании спускового механизма ударный боек 1 разгоняется с ускорением свободного падения. При свободном падении ударного бойка 1 с высоты  $H$  полученная кинетическая энергия передается рабочему инструменту штампа 2, в котором осуществляется горячее выдавливание.

Экспериментальные исследования проводились бойком массой  $m = 70$  кг с поднятием его на высоту  $H = 5$  м. Учитывая, что падение бойка происходит с ускорением свободного падения ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>), скорость бойка составляла:

$$v_6 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5} = 9,9 \text{ м/с.} \quad (1)$$

Следовательно, кинетическая энергия, переданная рабочему инструменту:

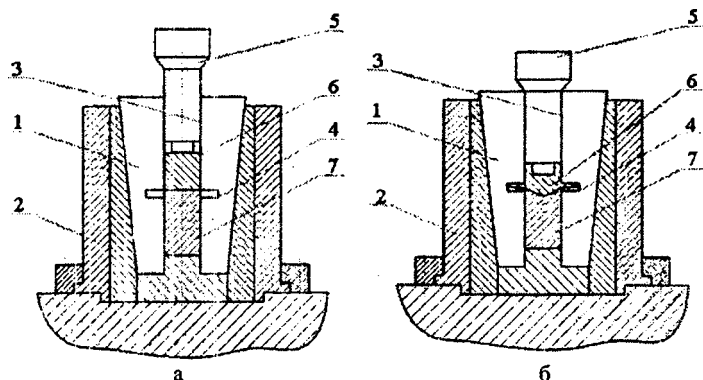
$$E_k = \frac{mv_6^2}{2} = \frac{70 \cdot 9,9^2}{2} = 3\,430 \text{ Дж.} \quad (2)$$

Известно, что существенное влияние на схватывание металлов оказывают поверхностные пленки, всегда присутствующие на контактных поверхностях.

Поверхностные пленки (оксиды, слои плакировки и др.), как правило, более тугоплавки (за исключением оксидов железа), чем соединяемые металлы или сплавы [3]. В процессе соединения они должны быть разрушены и удалены с плоскости сопряжения двух деталей, так как в общем случае их наличие в конечной стадии процесса препятствует образованию металлических связей.

В процессе соединения разнородных металлов разрушить и перераспределить поверхностные пленки удается только при расплавлении металла в контакте двух материалов. Разрушение и удаление указанных пленок происходит под действием совместной пластической деформации и высоких температур, и главным образом за счет вытеснения оксидов с жидким и твердым металлом за границу соединения.

Одним из вариантов получения биметаллического соединения и полости формообразующего штампового инструмента, является использование схемы с комбинированным выдавливанием (обратное и боковое). Схема штамповой оснастки для комбинированного выдавливания приведена на рисунке 2. Разъемная коническая матрица 1 помещается в обойму 2, которая крепится на нижней плите вертикального копра (рисунок 1). Рабочая поверхность матрицы 1 включает в себя основную цилиндрическую часть 3 и кольцевую проточку 4. Комбинированное выдавливание осуществляется мастер-пуансоном 5.



а – до нагружения; б – после нагружения

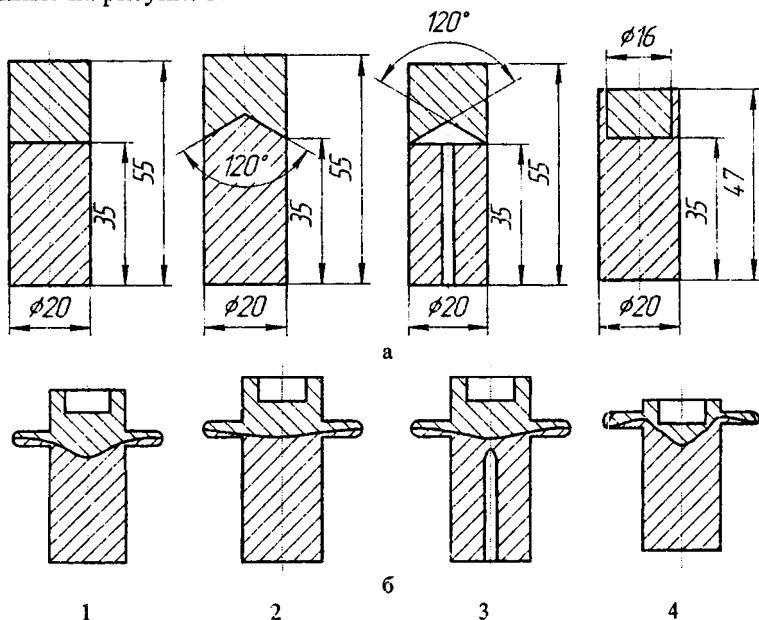
Рисунок 2 -- Штамповая оснастка и схема нагружения для комбинированного выдавливания

При этом заготовка состоит из двух частей: верхней 6 (сталь 5ХНМ или Х12МФ) и нижней 7 (сталь 40Х). Заготовку помещают в разъемную матрицу 1 штампа для закрытого выдавливания. Рабочая поверхность 3 матрицы 1 имеет шероховатость  $R_a = 0,63-0,32$  и выполнена в виде цилиндра и кольцевой проточки 4, расположенной на высоте раздела двух частей заготовки 6 и 7. Для деформации заготовки мастер-пуансон 5 разгоняют ударным бойком до скорости 9–10 м/с. В результате он получает запас энергии, обеспечивающий скоростную деформацию заготовки, которая сопровождается выдавливанием формообразующей полости заготовки и совместным пластическим течением объемов металла на поверхностях контакта двух частей заготовки 6 и 7 в кольцевую проточку 4. При этом, об-

ладая достаточной энергией, металл устремляется в кольцевую проточку, выполненную в матрице на высоте раздела двух заготовок, что позволяет интенсифицировать процесс течения двух частей заготовки для повышения прочности соединения. При этом после ударного нагружения площадь поверхности контакта двух совместно деформированных частей  $F_d$ , как минимум в 2 раза превышает исходную площадь поперечного сечения заготовки  $F_3$ . то есть должно выполняться условие:

$$F_d / F_3 \geq 2. \quad (3)$$

Для исследования оптимальной формы контакта сопрягаемых поверхностей и возможности совместного течения в кольцевую проточку двух частей заготовки рассмотрены варианты, представленные на рисунке 3.



а – до нагружения; б – после нагружения

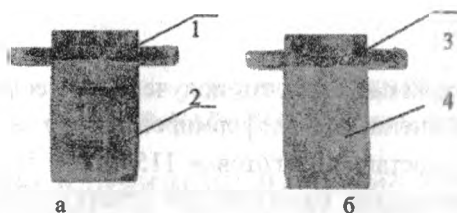
Рисунок 3 – Схемы составной заготовки

Образцы изготавливались резанием на токарном станке из прутков одной поставки. Нагрев осуществлялся в камерной печи СНОЛ-2УМ. Для предотвращения окалинообразования образцы засыпались порошкообразным древесным углем. В процессе нагрева температура в рабочем пространстве печи контролировалась с помощью хромель-алюмелевой термопары, соединенной с микропроцессорным измеритель-регулятором ТРМ-101. Время выдержки образцов в печи выбиралось из расчета полного прогрева по сечению и составляло 1 мин на 1 мм диаметра заготовки.

В момент пластического совместного течения разных металлов соединение осуществляется в твердой фазе (топохимический процесс). В результате деформации при комбинированном выдавливании торцы должны быть доведены до физического контакта с вытеснением оксидов с поверхности соединяемых металлов [5]. Деформация протекает при температуре, близкой к солидусу (в нашем случае 1150–1200 °С), при которой обеспечивается значительная термическая активация, способствующая в сочетании с движущимися дислокациями образованию прочного соединения на участках, свободных от оксидов. Однако даже на таких участках в случае недостаточного их нагрева при малой степени деформации, осуществляемой после достижения физического контакта, возможно формирование соединения без общих зерен, разрушение которого носит хрупкий межзеренный характер.

Скорость выдавливания также оказывает значительное влияние на формирование соединения. При малой скорости нагружения увеличивается время закрытия зазора между нижней и верхней частями заготовки, в течение которого металл охлаждается и удаление оксидных пленок затрудняется. При скоростном нагружении процесс можно считать адиабатическим, т.е. теплообмен между инструментом и заготовкой практически отсутствует, а за счет деформации происходит приращение температуры, что способствует удалению оксидных пленок [2]. Усилие выдавливания определяется величиной и скоростью деформации [4].

Как показали экспериментальные исследования, оптимальная форма контакта сопрягаемых поверхностей достигается при схеме 2 (рисунок 3), обеспечивая наилучшее удаление оксидов из зоны соединения металлов в кольцевую проточку, благодаря большей контактной поверхности и равномерному течению металлов. На рисунке 4 показан вид биметаллических образцов, полученных скоростным горячим выдавливанием по данной схеме.



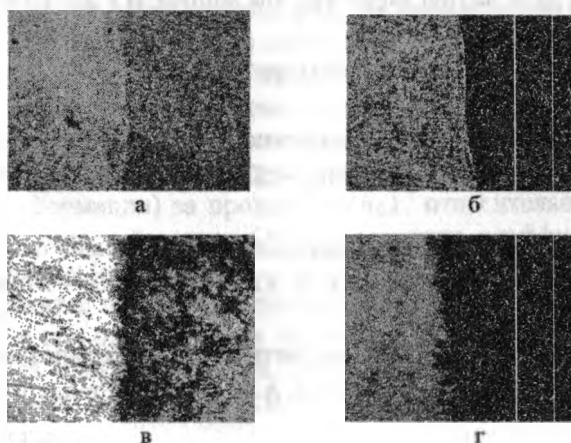
а – сталь 40Х + Х12МФ при  $T_0 = 1150$  °С; б – сталь 40Х + 5ХНМ при  $T_0 = 1200$  °С

1 – рабочая часть образца (сталь Х12МФ); 2 – основа образца (сталь 40Х);

3 – рабочая часть образца (сталь 5ХНМ); 4 – основа образца (сталь 40Х)

Рисунок 4 – Вид биметаллических образцов, полученных скоростным горячим выдавливанием

На рисунке 5 приведены фотографии микроструктуры биметаллических образцов в зоне шва. Как видно из фотографий, качество полученного шва в центре и на краю образцов практически одинаково, что является доказательством произошедшего физического контакта по всей соединяемой площади. Из рисунка 4 очевидно, что оксидные пленки и прочие загрязнения вытеснены в кольцевой зазор.



а, в – центр шва; б, г – край шва

Рисунок 5 – Микроструктура шва биметаллических образцов при 1000× увеличении (а, б – сталь 40Х+Х12МФ; в, г – сталь 40Х+5ХНМ)

## Выводы

1. Установлена возможность получения качественного биметаллического соединения при деформировании со скоростью 9–10 м/с и температуре составной заготовки 1150–1200 °С, которое формируется при совместном пластическом течении на поверхности контакта двух частей заготовки с удалением поверхностных оксидных пленок.

2. Разработана и обоснована геометрия инструмента, схемы нагружений и форма геометрии сопрягаемых поверхностей двух частей заготовки для получения биметаллического формообразующего штампового инструмента методом скоростного горячего выдавливания, обоснован выбор оборудования, используемого для получения прочного соединения двух различных сталей (40Х + Х12МФ и 40Х + 5ХНМ).

3. Необходимым и достаточным условием для получения качественного соединения является увеличение площади сопрягаемых поверхностей двух частей заготовки как минимум в два раза.

## Литература

1. Лясников, А.В. Образование полостей пресс-форм и штампов выдавливание / А.В. Лясников. – С-Пб.: Внешторгиздат, 1993. – 312 с.

2. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий с плакированием торцевой части / И.В. Качанов [и др.]. – Минск: БНТУ, 2011. – 198 с.

3. Потапов, И.Н. Слоистые металлические композиции / Потапов И.Н., Лебедев В.Н., Кобелев А.Г. – М.: Металлургия, 1986. – 216 с.

4. Гельман, А.С. Основы сварки давлением / А.С. Гельман. – М.: Машиностроение, 1970. – 312 с.