

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО, СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР  
БЕЛОРУССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Инженер А.П.ТОМИЛО

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ШТАМПОВ  
ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ -  
Заслуженный деятель науки и  
техники БССР, профессор тех-  
нических наук, академик АН  
БССР

В.П.СЕВЕРДЕНКО

Минск - 1965

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ ВЫПОЛНЕНА  
В ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ АН БССР И В  
КУЗНЕЧНОМ ЦЕХЕ МИНСКОГО ТРАКТОРНОГО ЗАВОДА

Направляем Вам для ознакомления автореферат дис-  
сертации инженера А.П.ТОМИЛО.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном за-  
ле научных сотрудников Белорусского политехнического  
института за 10 дней до защиты.

О дне защиты будет сообщено в газете "Звезда" или  
"Советская Белоруссия".

Отзывы просим направлять по адресу:  
г.Минск-27, Ленинский проспект, 65,  
Белорусский политехнический институт  
Ученому секретарю Совета

Защита предполагается ..... 1965 г.

Дата отправки автореферата ... 1965 г.

Ученый секретарь Совета  
Кандидат технических наук  
доцент

  
С. П. ПЕТРОВ

## В В Е Д Е Н И Е

Горячая штамповка на механических ковочных прессах (МКП) представляет сложный процесс пластической деформации металла, который сопровождается интенсивным течением металла поковки, высокими температурами заготовки и штампа. Одним из важнейших вопросов дальнейшего развития кузнечно-штамповочного производства является стойкость инструмента, которая определяется количеством поковок, снятых с данного штампа. Довольно отчетливо определились два направления в решении этой задачи: 1) Изыскание и внедрение новых штамповых сталей, обладающих лучшими прочностными свойствами; 2) Изыскание, совершенствование и разработка технологических процессов горячей штамповки на механических ковочных прессах.

Важным фактором, определяющим стойкость штампов горячей штамповки, является его температурный режим. Теплообмен в системе "поковка-штамп" имеет отличия от теплообмена двух металлических тел с различной температурой: при горячей штамповке имеется значительный температурный удар при малом времени контакта и высоких удельных давлениях деформации; между поковкой и штампом находится промежуточный слой, состоящий из окалины заготовки, продуктов сторевавшей смазки и пленки окислов штампа. Этот слой экранирует контактные поверхности создает термическое сопротивление потоку тепла от поковки к штампу и предохраняет штамп от перегрева. Исследование термофизических свойств этого слоя и степени его влияния на температурный режим горячей штамповки представляет важную задачу, решение которой приведет к увеличению стойкости штампов без дополнительных расходов. Научно обоснованные и экспериментально подтвержденные рекомендации по созданию оптимальных режимов горячей штамповки позволят интенсифицировать производство, благодаря широкому применению механизации и автоматизации, и более полно использовать все положительные стороны штамповки на механических ковочных прессах.

В работе изучаются технологические вопросы горячей штамповки: температурный режим работы штампов, характер теплообмена между поковкой и штампом, теплоизоляционный эффект смазок и тепловая стойкость штампов.

Работа состоит из шести глав с приложением. В первой главе приводится анализ литературных данных по температурному режиму и тепловой стойкости штампов горячей штамповки на механических прессах. Во второй главе дана методика исследования (измерение температуры, измерение времени деформации, удельных давлений, определение термофизических свойств материала граничного слоя). В третьей главе рассматриваются вопросы теплообмена между поковкой и штампом и приводятся коэффициенты теплопередачи и теплопроводности материала граничного слоя. В четвертой главе приведены результаты исследования температурного режима штампов механических ковочных прессов в зависимости от различных условий кузнечного производства. В пятой главе рассматривается кинетика образования граничного слоя между поковкой и штампом и даны результаты производственных испытаний теплоизоляционного эффекта технологических смазок. В шестой главе обобщаются результаты исследований, оценивается влияние технологических условий производства на стойкость штампов и даются рекомендации по созданию температурных режимов штамповки на механических ковочных прессах.

Температурный режим штампов исследовался в лабораторных и производственных условиях (кузнечный цех Минского тракторного завода) при осадке и штамповке на прессах К-II7А и МКП-630т с помощью хромель-алюмелевых и платинородий-платиновых термопар, подключенных к осциллографу Н-700 и потенциометру ЭПП-09. Исследование теплообмена на границе "поковка-штамп" и определение термофизических коэффициентов технологических смазок осуществляли на экспериментальных установках. Параллельно с исследованием температурного режима штампов осуществлялся контроль времени штамповки и измерялись удельные давления деформации.

#### ТЕПЛООБМЕН ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ НА ПРЕССАХ

Теплообмен между поковкой и штампом осуществляется теплопроводностью конвекцией и излучением. На поверхности соприкосновения теплопроводность и конвекция обычно объединяются в общее понятие - теплообмен соприкосновением, который описывается законом Ньютона:

$$q_c = \alpha_c \cdot (T_1 - T_2)$$

Теплообмен излучением описывается законом Стефана-Больцмана:

$$q_u = c \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right],$$

Величину  $q_u$  можно также определить из выражения:

$$q_u = \alpha_u \cdot (T_1 - T_2),$$

где  $\alpha_u$  - условный коэффициент теплопередачи излучением. Следовательно, полный удельный тепловой поток на границе двух тел равен:

$$q_\Sigma = q_c + q_u = \alpha_\Sigma \cdot (T_1 - T_2),$$

где  $\alpha_\Sigma$  - условный суммарный коэффициент теплопередачи. Распространение тепла по сечению штампа осуществляется теплопроводностью по закону Фурье:

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n},$$

Полное количество тепла, которое переходит от поковки в штамп за один цикл штамповки определяется из выражения:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \varepsilon \cdot (T_1 - T_2),$$

где  $F$  - площадь соприкосновения поковки и штампа;  
 $\varepsilon$  - время соприкосновения;  $T_1$  - температура поверхности поковки;  $T_2$  - температура поверхности гравюры штампа.

Коэффициент теплопередачи  $\alpha$  и теплопроводности  $\lambda$  граничного слоя определяют термическую проводимость материала этого слоя в момент деформации металла поковки. численные значения  $\alpha$  и  $\lambda$  были получены для различных смазок в диапазоне температур 570-750°K по методу заливки, разработанному в Физико-техническом институте АН БССР (таблица I).

Таблица I

№№ п/п	Смазка	$\alpha$	$\lambda$
		Вт/м <sup>2</sup> .град	Вт/м.град
I. Слой окалины заготовки X=0,08 мм, (смазка отсутствует)		2250	3,187
2. Масло 95% + графит 5%		3950	0,640
3. Масло 80% + тальк 10% + мел 10%		2202	0,443
4. Масло 85% + графит 5% + тальк 5% + мел 5%		1700	0,478
5. Сульфитцеллюлозный щелок 90% + графит 10%		2112	0,370
6. Сульфитцеллюлозный щелок 60% + графит 5% + мел 5% + вода 30%		1055	0,230
7. Сульфитцеллюлозный щелок 45% + масло 45% + графит 10%		1295	0,322
8. Жидкое стекло 45% + графит 5% + вода 50%		1073	0,247
9. Жидкое стекло 45% + тальк 5% + мел 5% + вода 45%		1210	0,363
10. Жидкое стекло 70% + асбест 5% + вода 25%		995	0,169
11. Раствор соли 90% + графит 10%		3120	0,452

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ШТАМПОВ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ НА МКП

Температурный режим работы штампов за время рабочей смены можно разделить на три этапа: 1) этап предварительного подогрева и разогрева штампа до средних рабочих температур; 2) этап установившегося теплового режима работы штампа, когда количество тепла, поступающее в штамп за единицу времени, примерно равно количеству тепла, отданного штампом в окружающую среду (квазистационарный тепловой режим системы "поковка-штамп - окружающая среда"); 3) этап естественного охлаждения штампа.

Во время деформации металла поковки происходит интенсивный рост температуры поверхностного слоя гравюры штампа, т.е. тепловой удар с ярко выраженной температурной волной. Распространение температурной волны в полуограниченном массиве, когда колебания температуры возбуждаются только на поверхности тела, описывается следующим уравнением:

$$T(x, \tau) = T_{max} \cdot \cos\left(2\pi \frac{\tau}{Z} - \sqrt{\frac{\pi}{\alpha Z}} \cdot x\right) \cdot e^{-\sqrt{\frac{\pi}{\alpha Z}} \cdot x} \quad [1]$$

где  $T$  - температура, отсчитываемая от начальной температуры штампа, как от нуля;

$x$  - координаты точки;

$\tau$  - время;

$T_{max}$  - максимальное отклонение температуры;

$2\pi/Z$  - угловая частота колебания температуры;

$Z$  - продолжительность полного периода колебания температуры;

$\alpha$  - температуропроводность материала штампа.

Распределение температуры в штампе получается в виде волны, амплитуда которой затухает с глубиной и температурное поле штампа рассматривается как движущиеся температурные волны от поверхности в глубину штампа.

В результате исследований температурного режима штампов горячей штамповки в стадии установившегося теплового режима системы были получены зависимости изменения температуры тонкого поверхностного слоя гравюры штампа для свободной осадки и штамповки (рис. 1).

Средняя температура поверхности гравюры штампа представляет условную среднюю температуру поверхностного слоя гравюры штампа толщиной  $0,1 + 0,15$  мм за продолжительный отрезок времени работы штампа. Средняя температура поверхности гравюры может быть получена методом экстраполяции температурной кривой или как среднеарифметическое значение температуры поверхности за один или несколько циклов штамповки.

Температурное поле штампа мкм-метр для различных участков гравюры в зависимости от характера течения металла поковки представлено на рис. 2.

Исследование температурного режима штампов механических ковочных прессов в зависимости от величины удельных давлений деформации показало, что увеличение давления с  $9,8 \cdot 10^6$  н/м<sup>2</sup> до  $39,2 \cdot 10^6$  н/м<sup>2</sup> ( $10$  кг/мм<sup>2</sup> -  $40$  кг/мм<sup>2</sup>)

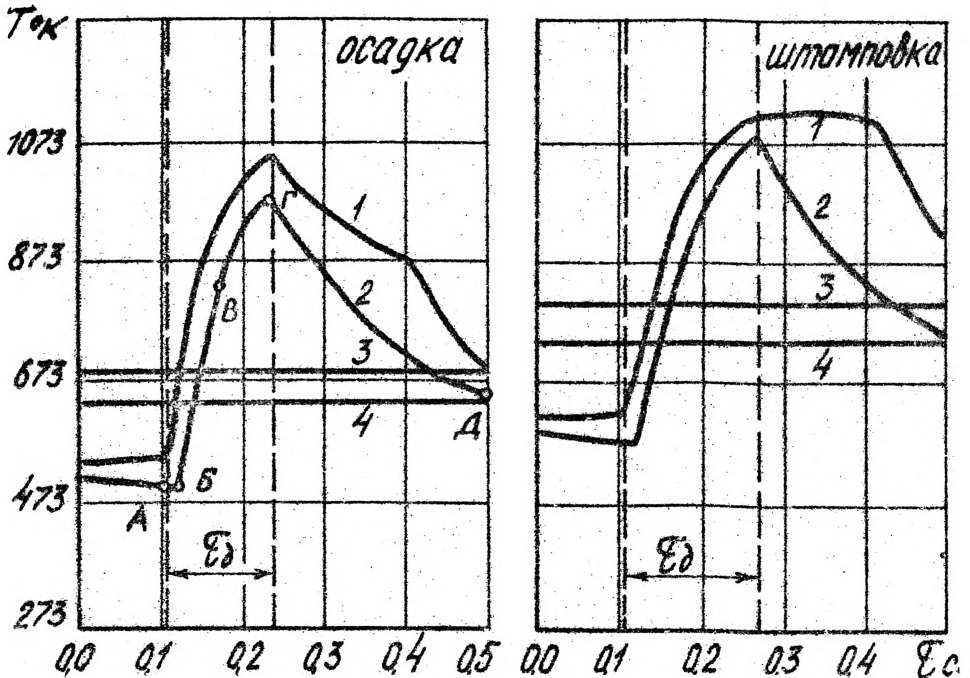


Рис. 1. Температура поверхностного слоя гравюры штампов механического ковочного прессы за один цикл штамповки.

- 1- изменение температуры поверхностного слоя гравюры нижнего штампа;
  - 2- изменение температуры поверхностного слоя гравюры верхнего штампа;
  - 3, 4 - средняя температура поверхностного слоя гравюры нижнего и верхнего штампов в период установившегося теплового режима горячей штамповки;
- $\tau_d$  - время деформации.

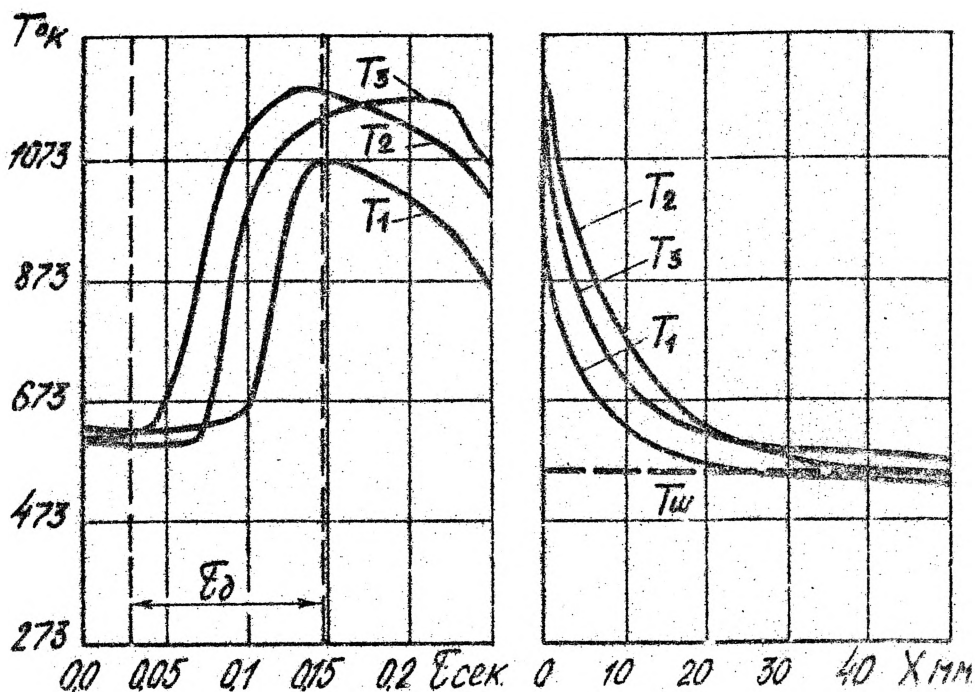


Рис. 2. Изменение температуры поверхностного слоя гравюры штампа и температурное поле по сечению штампа для различных элементов гравюры штампа в зависимости от характера течения металла поковки. (Температурное поле штампа дано в момент окончания деформации металла поковки).

$T_1$  - участок "застоя" металла;

$T_2$  - участок с наибольшей продолжительностью контакта поковки и штампа,

$T_3$  - участок интенсивного течения металла (обойный мостик).

Оборудование: МКП-630т. Нагрев заготовок: печной газовый.

вызывает повышение средней температуры поверхности гравюры штампа на  $75+80^{\circ}$  и средней температуры штампа на  $25+35^{\circ}$ , главным образом за счет уменьшения термического сопротивления граничного слоя и увеличения площади контакта поковки со штампом.

Изучение температурного режима штампов проводилось в широком интервале температур нагрева заготовок с различной степенью окисления поверхности. Повышение температуры нагрева заготовок с  $1170^{\circ}\text{K}$  до  $1570^{\circ}\text{K}$  вызывает увеличение средней температуры поверхности гравюры штампа на  $50+60^{\circ}$  при печном газовом нагреве и на  $120+150^{\circ}$  при нагреве на стыковой сварочной машине, где плавящая окалина на торцах заготовки практически отсутствовала.

Температурный режим штампов горячей штамповки в значительной степени определяется временем активного контакта поковки со штампом, т.е. временем деформации поковки и временем с момента окончания деформации до удаления поковки из гравюры штампа. Сокращение этого времени вызывает почти пропорциональное уменьшение количества тепла, переходящего от поковки в штамп за один цикл штамповки. На температурный режим штамповки и тепловую стойкость штампов оказывает существенное влияние температура и вид предварительного подогрева штампов. Лучшим видом предварительного подогрева штампов горячей штамповки, как в экономическом, так и в технологическом отношении, является индукционный токками промышленной частоты. Применяемый в настоящее время предварительный подогрев штампов "горячими" болванками и газовыми горелками трудносок и не обеспечивает достаточно равномерного нагрева до температур -  $500+520^{\circ}\text{K}$ .

#### ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ СМАЗОК

Были исследованы кинетика образования граничного слоя между поковкой и штампом и температурный режим штампов в зависимости от вида технологических смазок. Анализируя кривую изменения температуры поверхности гравюры за время деформации можно выделить несколько характерных участков (рис. 1): 1) теплообмен на границе поковки и штампа происходит, но тепловой поток поглощается слоем смазки (испарение, выгорание и пиролиз), и температура поверхности гравюры повышается незначительно (участок АБ на рис.1); 2) затем происходит резкое повышение температуры поверхности гравюры вследствие максимального температурного напора на границе

поковки и штампа, а также увеличения удельной площади контакта в результате частичного удаления смазки и увеличения удельных давлений деформации. Граничный слой в результате испарения и выгорания смазки состоит из пленки наполнителя и незначительной газовой прослойки в неровностях контактных поверхностей (участок БВ); 3) рост температуры постепенно замедляется, что соответствует стадии штамповки, когда происходит заполнение труднодоступных мест гравюры штампа и вытекание избыточного металла в заусенец. Продукты смазки образуют тонкую, дискретную газовую прослойку, которая уменьшает удельную площадь контакта и снижает коэффициент теплопередачи  $\alpha$  (участок ВГ); 4) с момента окончания деформации и удаления поковки следует участок охлаждения поверхностного слоя гравюры штампа (участок ГД).

На основании производственных испытаний, смазки по степени теплоизоляционного эффекта можно расположить в следующем порядке:

- 1) сульфитцеллюлозный щелок 70%+вода 20%+асбест 10%;
- 2) сульфитцеллюлозный щелок 50% + графит 10% + мел 10% + вода 30%;
- 3) сульфитцеллюлозный щелок 90% + графит 10%;
- 4) жидкое стекло 50% + тальк 10% + мел 10% + вода 30%;
- 5) раствор соли + графит 10%;
- 6) масло 80% + тальк 10% + мел 10%;
- 7) масло 95% + графит 5%.

Штамповка с применением технологических смазок различной вязкости показала, что термическое сопротивление граничного слоя, состоящего из окалины заготовки и вязкой смазки, способствует снижению максимальной температуры поверхности гравюры штампа до 50%. Отрицательным свойством вязких смазок является быстрое заполнение гравюры продуктами разложения смазки, что вызывает недоштамповку повок и необходимость частой очистки штампа. Для штампов, у которых преобладающим видом износа является снятие, применение вязких смазок нежелательно, так как смазка образует на наружных поверхностях штампа прочную, трудно удаляемую корку, которая снижает коэффициент теплопередачи от штампа в окружающую среду и этим способствует перегреву штампа.

## ТЕПЛОВАЯ СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВ МЕХАНИЧЕСКИХ КОВОЧНЫХ ПРЕССОВ

Анализа стойкости штампов горячей штамповки показывает, что преобладающим видом износа штампов механических ковочных прессов являются разгарные трещины и в меньшей степени смятие элементов гравюры. В зависимости от температурного режима штамповки в поверхностных слоях гравюры штампа может иметь место:

1. Отпуск поверхностного слоя металла штампа в результате высокотемпературного нагрева этого слоя на глубину до 4+6 мм при средней температуре глубинных слоев штампа 540+550°K. Такой нагрев возможен при интенсивной штамповке на МКП и ГКМ без принудительного охлаждения штампов или при "залипании" поковок в гравюре штампа. Для молотовых штампов смятие элементов гравюры является преобладающим, вследствие специфических особенностей теплообмена: температурные волны следуют друг за другом с небольшим интервалом и температурное поле молотового штампа имеет меньшей перепад температуры, что затрудняет теплоотвод от поверхностных в глубинные слои штампа. В результате уменьшения твердости элемент гравюры не может противостоять градиенту давлений на поверхности гравюры и по сечению штампа. Для штампов, имеющих гравюру несложной формы, смятие заключается в уменьшении высоты знаков, бобышек и в увеличении поперечных размеров гравюры штампа. При значительном градиенте давлений может иметь место сдвиг выступов, пластическая деформация облойного мостика, образование поднутрений, которые вызывают "залипание" поковок в гравюре штампа. Особенно опасным является "залипание" поковок вследствие неисправностей выталкивающего механизма пресса. В этом случае количество тепла, перешедшее от поковки в штамп, пропорционально времени контакта поковки со штампом, что вызывает высокотемпературный нагрев (1170+1250°K) штампа на глубину до 6+8 мм. Следовательно, мероприятия, направленные на уменьшение глубины высокотемпературного нагрева штампа, сокращение времени теплового воздействия и уменьшение градиента удельных давлений, будут способствовать увеличению стойкости штампов против омятия.

2. Местная закалка тонкого поверхностного слоя гравюры штампа в результате интенсивного теплоотвода от поверхностных в глубинные слои штампа. Температурное поле штампов механических ковочных прессов (рис. 2) характеризуется значительным перепадом температуры, особенно в момент окончания деформации металла по-

ковки. Время деформации для ковочных прессов усилием  $630+2500$  т составляет  $0,1-0,2$  сек, при этом время действия высоких температур в поверхностном слое гравюры штампа толщиной до  $1$  мм не превышает  $50+60\%$  времени деформации. За это время структурные изменения (отпуск металла штампа) естественно не успевают произойти, а если частично и происходят, то градиент давлений в тонком поверхностном слое гравюры штампа недостаточно велик, чтобы произошла пластическая деформация этого слоя. Следовательно, при каждом рабочем ходе пресса следует частичный отпуск и местная закалка поверхностного слоя гравюры штампа, что способствует образованию трещин термической усталости.

Градиент температур по сечению штампа вызывает температурные напряжения, которые суммируясь с напряжениями в результате пластической деформации металла поковки, могут превысить предел прочности материала штампа. Циклические изменения температуры штампа вызывают знакопеременные температурные напряжения. При нагреве поверхностный слой гравюры штампа стремится расшириться в условиях стесненной деформации и подвергается напряжениям сжатия, а ниже лежащий слой - напряжениям растяжения. С момента удаления поковки из гравюры штампа исходит уменьшение температуры поверхности гравюры и напряжения меняют свой знак (величина напряжений примерно одинакова). Многократные знакопеременные напряжения способствуют образованию микроскопических и мелких усталостных трещин, которые перерастают в более крупные трещины разгара. Такова в общих чертах картина износа штампов механических ковочных прессов у которых преобладающим видом износа являются разгарные трещины.

Увеличение разгаростойкости штампов ковочных прессов можно достичь снижением градиента температур и, соответственно, напряжений по сечению тонкого поверхностного слоя гравюры штампа, т.е. можно рекомендовать: смазки, обладающие значительным термическим сопротивлением и экранирующие контактные поверхности поковки и штампа; высокотемпературный нагрев заготовок, при котором значительно уменьшаются удельные давления деформации; предварительный подогрев металла на  $30+60^{\circ}$  выше температур, обычно рекомендуемых; штамповку с темпом  $10+15$  шт/мин, что будет способствовать уменьшению температурного перепада по сечению металла. Предварительный подогрев металла и высокий темп штамповки особенно важны при

высокотемпературном нагреве заготовок. Некоторое увеличение разгаростойкости штампов можно получить применением штамповых сталей с более высокими значениями коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, а также снижением твердости штампа; однако следует отметить, что снижение твердости не является достаточно эффективным средством увеличения стойкости штампов против разгара. Далее приведены таблицы результатов производственных исследований температурного режима штампов МКП - 630 т, химический состав, механические свойства штамповых сталей и рекомендуемые режимы термической обработки штампов.

### В Ы В О Д Ы

1. Установлено, что теплообмен между поковкой и штампом при горячей штамповке на механических ковочных прессах имеет резко выраженный нестационарный характер. Подавляющее количество тепла (80+85% общего количества тепла) переходит в штамп за время деформации в результате теплообмена соприкосновения.

2. Штамп горячей штамповки в период установившегося теплового режима испытывает гармонические колебания температуры поверхностного слоя гравюры штампа (температурные волны). Температурное поле штампа можно представить, как ряд затухающих с глубиной температурных волн. На глубине 80-100 мм температура штампов горячей штамповки на МКП изменяется незначительно.

3. Установлено, что температура поверхностного слоя гравюры штампа определяется в первую очередь величиной температурного напора на границе поковки и штампа и термическим сопротивлением граничного слоя. Градиент температуры по сечению штампа определяется термофизическими свойствами материала штампа и количеством тепла, которое переходит в штамп за один удар пресса.

4. Экспериментально исследован температурный режим штампов горячей штамповки на механических ковочных прессах при осадке и штамповке и установлено: а) температура поверхности гравюры в момент штамповки достигает при осадке -  $970 \pm 1050^{\circ}\text{K}$ , при штамповке -  $1080 \pm 1120^{\circ}\text{K}$ ; б) средняя температура поверхностного слоя гравюры штампа составляет при осадке -  $630 \pm 680^{\circ}\text{K}$ , при штамповке -  $750 \pm 800^{\circ}\text{K}$ ; в) средняя температура глубинных слоев штампа состав-

ляет при осадке -  $440 \pm 470^\circ\text{K}$ , при штамповке -  $530 \pm 550^\circ\text{K}$ ;  
г) изменение температуры поверхности гравюры штампов МКП за время деформации поковки имеет закономерности, отличные от приведенных в литературе.

5. Установлено, что повышение температуры нагрева заготовок с  $1170^\circ\text{K}$  до  $1570^\circ\text{K}$  вызывает увеличение средней температуры поверхности гравюры на  $50 \pm 60^\circ$  при печном газовом нагреве.

6. Установлено, что повышение удельных давлений деформации с  $9,8 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$  до  $39,2 \text{ н/м}^2$  вызывает увеличение средней температуры поверхности гравюры на  $75 \pm 80^\circ$ , главным образом, в результате уменьшения термического сопротивления граничного слоя и увеличения удельной площади контакта поковки со штампом.

7. Изменение температуры поверхностного слоя гравюры штампа имеет отличия для различных элементов гравюры в зависимости от характера течения металла поковки (рис. 2).

8. Экспериментально подтверждено, что температурный режим горячей штамповки и тепловая стойкость штампов в значительной степени зависят от температуры и вида предварительного подогрева штампа. Лучшим видом подогрева штампов является индукционный токми промышленной частоты.

9. Исследована кинетика образования граничного слоя между поковкой и штампом в момент деформации и произведен анализ теплоизоляционного эффекта этого слоя.

10. Определены термофизические коэффициенты технологических смазок, что позволит рассчитывать процессы теплообмена для реальных условий горячей штамповки и оценивать термическое сопротивление технологических смазок (табл. I).

11. Исследовано влияние смазок на температурный режим штампов МКП, отмечены специфические особенности каждой смазки и даны рекомендации по их применению.

12. На основании результатов исследований температурного режима штампов горячей штамповки проведен анализ стойкости штампов против смятия и разгарных трещин. Приводятся рекомендации по разработке технологических режимов штамповки для штампов у которых смятия или разгарные трещины являются преобладающим видом брака.

Основное содержание диссертационной работы было доложено перед сотрудниками ЭНИКМАШа, Базовой лаборатории обработки металлов давлением Совнархоза СССР совместно с инженерно-техническим составом Минского тракторного завода и опубликовано в статьях:

1. В.П.СЕВЕРДЕНКО, А.П.ТОМИЛО. Температура рабочей поверхности штампов горячей штамповки, "Доклады АН СССР", т. IX, № 1, 1965.
2. В.П.СЕВЕРДЕНКО, А.П.ТОМИЛО. Теплоизоляционный эффект смазок при горячей штамповке, "Доклады АН СССР", т. IX, № 3, 1965.
3. В.П.СЕВЕРДЕНКО, А.П.ТОМИЛО. Теплообмен на границековка-штамп, "Доклады АН СССР", т. IX, № 4, 1965.

---

ЛТ 01009. Тираж 200 экз. Зак. 540. Подписано  
в печать 4/Х-65 г. Фотоофсетная лаборатория

МГМО

---

г. Минск, Ленинский проспект, 128