

## МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ ПУАНСОНОВ

**Баранов А.Н., Баранова Е.М.**  
**Научный руководитель – Баранов А.Н.**

*Тульский государственный университет*

Как показывает практика, при обработке металлов давлением наиболее неблагоприятным режимом для инструмента является диапазон температур полугорячего выдавливания. В процессе полугорячего выдавливания максимально подвержены разрушению пуансоны, испытывающие циклическое термосиловое нагружение. В условиях массового производства изготовление пуансонов становится серийным, что значительно повышает себестоимость изделий, получаемых полугорячим выдавливанием. В настоящее время существует ряд производственных наработок по стойкости инструмента. Однако имеющиеся данные неприменимы к современным технологическим процессам, поскольку для обеспечения наибольшей их технологичности необходимо прогнозирование стойкости пуансонов различного типа, изготовленных из различных материалов и работающих при иных технологических режимах.

Обоснованное прогнозирование стойкости позволит оптимизировать расходы, связанные с изготовлением инструмента для процесса полугорячего выдавливания.

Вопрос определения стойкости пуансонов можно решить экспериментальным путём с применением установки для определения стойкости пуансонов полугорячего выдавливания при повышенных температурах. Предложенная установка позволяет по известным или предварительно рассчитанным характеристикам технологического режима полугорячего выдавливания, температуре нагрева заготовки, максимальной удельной силе и производительности определять стойкость образцов-пуансонов.

Для оценки термомеханической стойкости пуансонов с применением установки использовался метод физического моделирования процесса полугорячего выдавливания, основанный на испытаниях универсального образца-пуансона (рис. 1) на термомеханическую усталость, и учитывающий реальные условия взаимодействия контактирующих инструмента и нагретой заготовки.

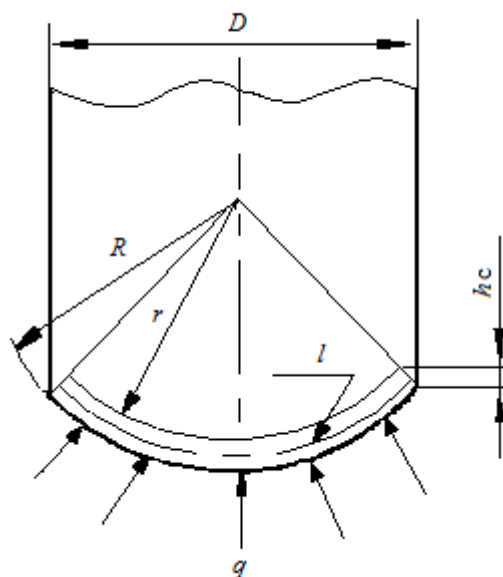


Рис. 1. Схема образец-пуансона:

На рис. 1:  $D$  – диаметр образца-пуансона;  $R$  – наружный радиус скругления приконтактного слоя;  $r$  – внутренний радиус скругления приконтактного слоя;  $l$  – срединный радиус скругления приконтактного слоя;  $h_c$  – толщина приконтактного слоя;  $q$  – удельная сила, действующая на приконтактный слой пуансона

При моделировании процесса полугорячего выдавливания использовался метод подобия, заключающийся в замене наиболее нагруженной рабочей поверхности пуансона пропорциональной по площади поверхностью шарового сегмента торца образца-пуансона. Метод подобия использовался для обеспечения одинаковых по величине воздействий теплового и силового нагружения на каждую единицу площади.

На рис. 2 показана схема штампа установки для определения стойкости пуансонов полугорячего выдавливания.

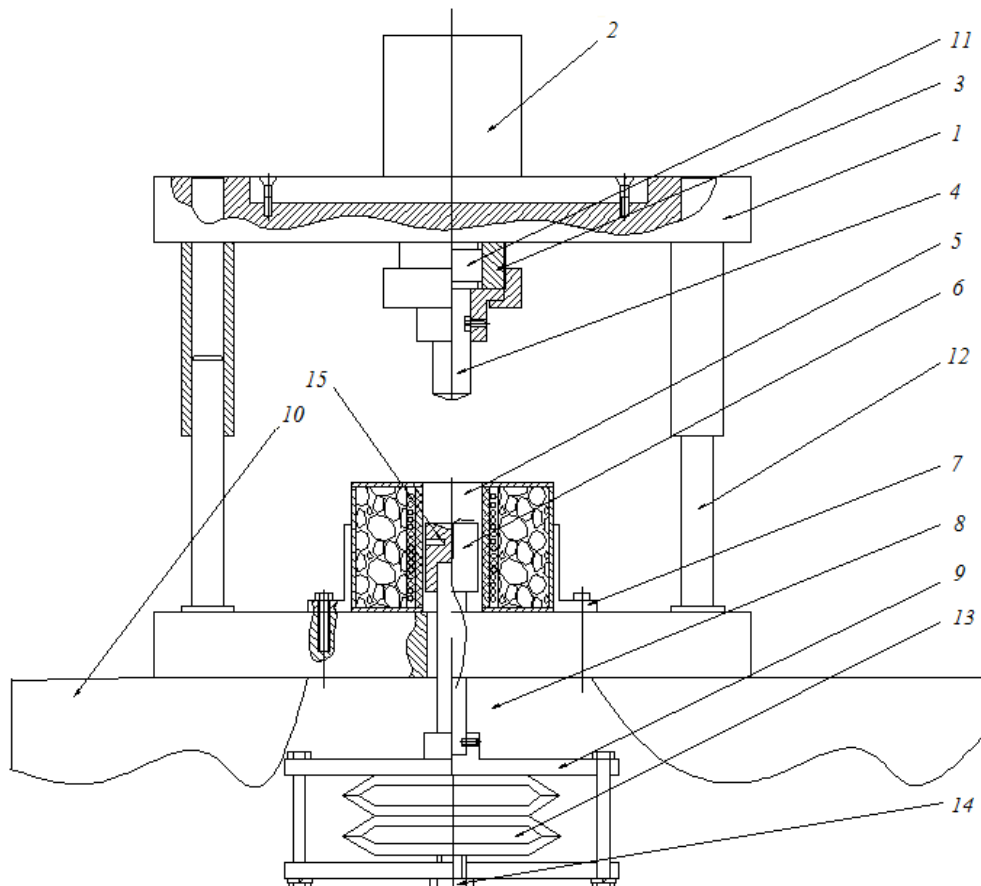


Рис. 2. Штамп установки для определения стойкости пуансонов полугорячего выдавливания

В соответствии с рис. 2, штамп 1 крепится хвостовиком 2 к ползуну прессы. К верхней плите штампа с помощью пуансонодержателя 3 и винта прикреплён быстро-съемный образец-пуансон 4. На нижней плите установлено нагревательное устройство 5 (печь сопротивления), предназначенное для нагрева ударной пяты 6. Нагревательное устройство устанавливается на нижнюю плиту штампа с помощью креплений 7, которые обеспечивают надёжную фиксацию и центрирование печи. Обеспечиваемая нагревательным устройством температура регулируется изменением напряжения, подаваемого через трансформатор на спираль печи. Ударная пята, выполненная из термостойкого сплава ЖС6-У, размещена внутри в центре нагревательного устройства. Нижней частью она закреплена на толкателе 8, который служит для передачи силы на демпфирующее устройство 9. Толкатель связан с демпфирующим устройством через нижнюю

плиту штампа и стол прессы 10. Мессдоза 11, предназначенная для измерения силы, действующей на пуансон, закреплена между образцом-пуансоном 4 и калёной прокладкой верхней плиты штампа. Этот штамп снабжён направляющими колонками и втулками 12 для обеспечения точности хода образца-пуансона.

Протарированное демпфирующее устройство 9, предназначенное для воздействия на образец-пуансон 4 в процессе нагружения удельной силы сопротивления со стороны ударной пяты 6, равной удельной силе выдавливания, состоит из упругого элемента 13, размещённого в специальном блоке, и регулировочного болта 14. Необходимое значение удельной силы устанавливается с помощью регулировочного болта 14, расположенного на демпфирующем устройстве. Регулируется удельная сила за счёт изменения силы поджатия упругого элемента. Температура нагрева ударной пяты 6 контролируется с помощью термомпары 15.

Предварительно перед испытаниями образцов-пуансонов на стойкость определяется технологический режим операции. Устанавливается число ходов ползуна прессы в минуту, ударная пята прогревается до устойчивой температуры, фиксируется удельная сила сопротивления деформирующего устройства, развиваемая при малом ходе (4...5 мм) ударной пяты под действием образец-пуансона в конце его рабочего хода. Установка базируется на механическом прессе К2130Б с силой 1 МН.

Варьирование технологическими режимами позволяет определять стойкость любого типа пуансонов, работающих в различных режимах полугорячего выдавливания. Уникальность установки заключается в том, что с помощью описанного выше штампа возможна реализация режимов полугорячей обработки металлов давлением.

В ходе эксперимента деформируемым материалом являлась ударная пята из жаропрочного материала ЖС6-У. Температура нагрева ударной пяты измерялась термомпарой ВР (А)-2, подключённой к милливольтметру. Значения температуры устанавливались по градуировочному графику, представляющему собой зависимость напряжения от температуры (рис. 3).

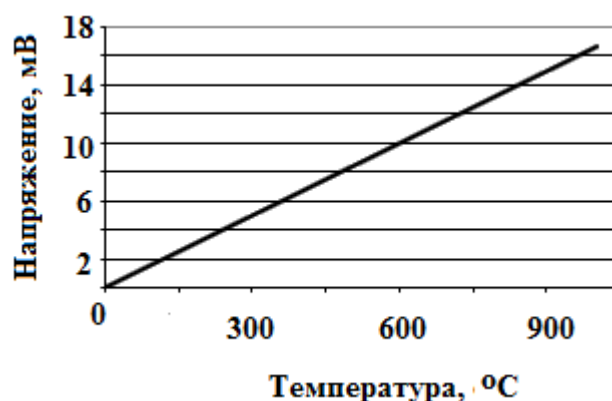


Рис. 3. Зависимость напряжения от температуры

Пята предварительно нагревается в печи сопротивления до нужной температуры, которая поддерживается автоматически на всем периоде испытаний. Точность контролируемой температуры составляет  $\pm 10$  °С.

Температура испытаний принимается от 600 до 900 °С. Экспериментальные испытания на термомеханическую усталость образцов-пуансонов проводились на установке с производительностью 40 и 80 ходов в минуту. Испытывались три марки стали – Р6М5, 4Х5МФС, 3Х3М3Ф. Перед экспериментом на установке выставлялись требуемые значения технологических параметров. Через один час работы установки в автоматическом режиме (примерно 2000 циклов) пресс выключался. Испытываемый образец-пуансон извлекался из установки и подвергался визуальному осмотру при сильном освещении и десятикратном увеличении. Результатом обследования являлись

разгарные трещины. Если трещины имели зарождающийся характер, испытания прекращались, и делалось заключение о полной стойкости с увеличением числа циклов в 1,85 раза. Если трещины имели развитой характер (глубина, протяжённость), время испытаний нового образца уменьшалось до 30 мин. Если трещины не обнаруживались, испытания продлевались с последующим осмотром образца-пуансона через каждые 50 циклов.

По результатам эксперимента были получены уравнения регрессии, позволяющие определять значения стойкости пуансонов полугорячего выдавливания, изготовленных из сталей Р6М5, 4Х5МФС, 3Х3М3Ф.

Соответственно:

$$N = 7075 - 3,375t - 2,25q - 40,9375n;$$

$$N = 7575 - 1,875t - 1,25q - 18,125n;$$

$$N = 7450 - 2,375t - 1,5q - 37,1875n,$$

где  $t$  – температура нагрева образец-пуансона;

$q$  – удельная сила, действующая на образец-пуансон;

$n$  – количество циклов до возникновения трещины.

Анализ уравнений регрессии позволил сделать вывод о том, что в большей степени на разрушение рабочей поверхности пуансонов влияют удельная сила процесса и производительность, тогда как температура на появление усталостных микротрещин оказывает второстепенное действие.

Результаты эксперимента по определению стойкости пуансонов представлены графиками зависимостей стойкости от технологических параметров исследуемого процесса (рис. 4).

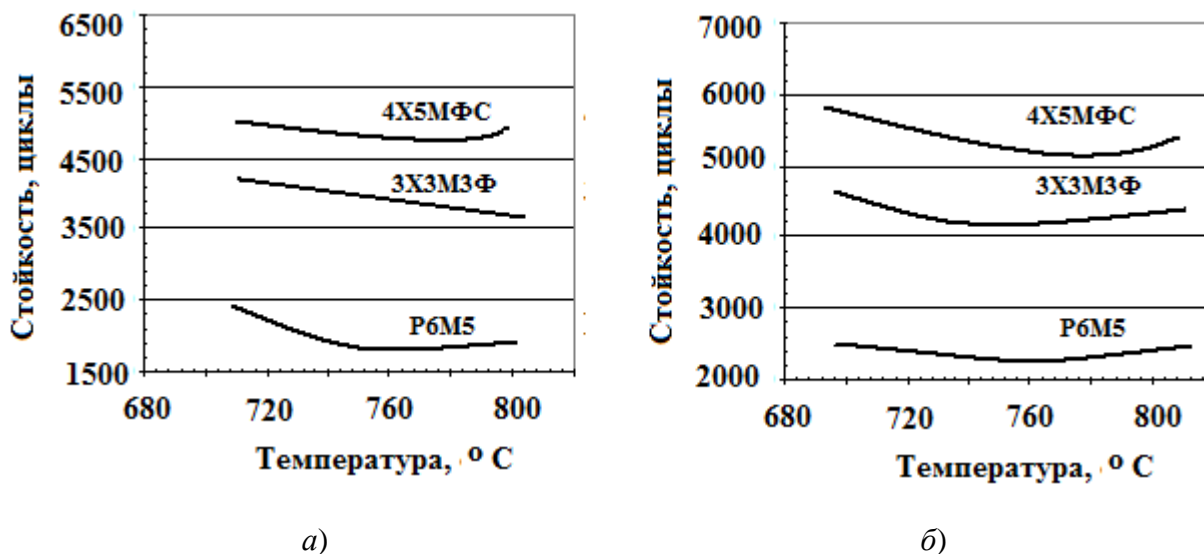


Рис. 4. Зависимость стойкости от температуры для различных сталей при фиксированной производительности:

$$a - q = 1100 \text{ МПа} \quad n = 80 \text{ мин}^{-1}; \quad б - q = 700 \text{ МПа} \quad n = 80 \text{ мин}^{-1}$$

Из приведённых зависимостей видно, что с увеличением значений основных параметров изучаемого процесса количество циклов до появления усталостной трещины (стойкость) уменьшается. Наибольшей стойкостью при одинаковых значениях технологических параметров обладает сталь 4ХМФС (5800 циклов), наименьшей – сталь Р6М5 (3250 циклов). Реализация полученных результатов исследования необходима для оптимизации технологических параметров полугорячего выдавливания по полученной характеристике стойкости, а также для выбора соответствующей марки инстру-

ментальной стали с целью повышения экономического эффекта путём сокращения затрат на производство единицы циклов.