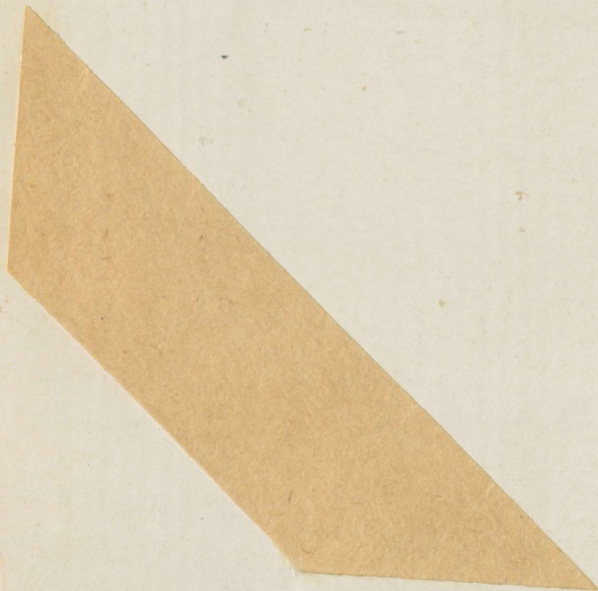




НОВОЕ
В ТЕХНОЛОГИИ
ОБРАБОТКИ
ПОДОСТЕЙ
ВЫДАВЛИВАНИЕМ

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКОГО
СЕМИНАРА • ТАЛЛИН 1969**

ARH



XI
A-18402

Институт научно-технической информации и пропаганды
при Совете Министров Эстонской ССР

Комитет инструментального производства ЭСНТО

НОВОЕ В ТЕХНОЛОГИИ

ОБРАБОТКИ ПОЛОСТЕЙ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Сборник материалов
научно-технического семинара

Таллин 1969

Fi

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

242171

ARHIIVKOGU

Экспериментальный комбинат "Бит" ИНТИП ЭССР
Таллин, ул. Планэеди, 18

Редактор С.Нигуль

Подписано в печать 10 /VI 1969. Тираж 600 экз.
Бумага 30x41. Усл. печ.л.4,83. Заказ № III2 -2331.

МВ- 06064.

Ротапринт ЭК "Бит"

Таллин, ул. Пикк, 68
Бесплатно

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
В в е д е н и е	5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ
ПОЛОСТЕЙ

1. А.И. Хыбеяги. Технологические особенности холодного, полугорячего и горячего выдавливания полостей	7
2. А.Ю. Кахар. Выбор оптимальных температур для полугорячего выдавливания полостей в штамповые стали	16
3. А.Ю. Кахар. О точности выдавленных полостей матриц пресс-форм и штампов	25

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ
ПОЛОСТЕЙ

4. Д.П. Кузнецов, А.И. Хыбеяги, А.В. Лясников. Деформированное состояние и разрушение материала заготовки при закрытом холодном выдавливании	32
5. Д.П. Кузнецов, А.В. Лясников. О расчете размеров заготовки при закрытом холодном выдавливании матриц пресс-форм	45
6. А.Э. Киецис, А.И. Хыбеяги. О технологических режимах замедленного выдавливания	52
7. Д.П. Кузнецов, А.В. Лясников. Расчет предельной глубины полости при холодном выдавливании деталей пресс-форм и штампов	59

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПОЛОСТЕЙ
ВЫДАВЛИВАНИЕМ

8. В.Л. Мээнтало. Применение метода холодного выдавливания на заводе "Пионер"	68
---	----

9. А.А. Рудзитис. Расширение технологических возможностей процесса холодного выдавливания 72
10. Л.Н. Азаренков, М.С. Портер. Опыт применения холодного выдавливания формующих полостей деталей технологической оснастки 76

В в е д е н и е

С целью ознакомления с новым практическим опытом производства и с новыми результатами исследовательских работ Комитет инструментального производства ЭСНТО и Институт научно-технической информации и пропаганды (ИНТИП) организовали семинар на тему: "Новое в технологии обработки полостей выдавливанием".

Семинар состоялся 14 мая 1968 г. в г. Таллине. В семинаре принимали участие 92 делегата с предприятий и из институтов г. Таллина, Риги и Ленинграда. После двух семинаров по технологии выдавливания полостей матриц пресс-форм и штампов, проведенных в г. Риге в 1966 и 1967 гг., Таллинский семинар был третьим научно-техническим семинаром Прибалтики по новым методам в технологии обработки полостей выдавливанием. Актуальность тематики семинара для многочисленных инструментальных заводов и цехов нашей страны и темпы развития новых методов обработки выдавливанием подтвердили необходимость проведения ежегодных семинаров по вышеуказанной тематике.

В отличие от первых двух семинаров, где были обсуждены проблемы холодного выдавливания, Таллинский семинар был посвящен проблемам обработки полостей холодным, полугорячим и горячим выдавливанием. Таким образом, тематика этого семинара отражает развитие технологии обработки выдавливанием. Научно-технический характер семинара выражает тесную связь между участками обработки выдавливанием в инструментальных цехах предприятий различных ведомств и лабораториями институтов, занимающихся исследованием и разработкой новых методов обработки выдавливанием. Плодотворный обмен опытом и новыми результатами проведенных работ между специалистами различных предприятий и институтов необходим для дальнейшего развития технологии обработки полостей выдавливанием.

к.т.н. А.Хыбемяги,
научный руководитель семинара

Ввиду того, что материалы настоящего сборника предназначены в основном для инженеров-технологов, мастеров и инструментальщиков предприятий различных ведомств, в сборнике принята техническая система единиц измерения по ГОСТ 7664-61. Для перевода приведенных в сборнике величин в международную систему единиц (СИ) следует пользоваться нижеприведенными переходными отношениями:

$$1 \text{ кг} \approx 9,81 \text{ н}$$

$$1 \text{ кГм} \approx 9,81 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ тс} \approx 9,81 \text{ кн}$$

$$1 \text{ кг/мм}^2 \approx 9,81 \text{ Мн/м}^2$$

Остальные размерности, приведенные в сборнике, при переводе в международную систему единиц (СИ) не изменяются.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХОЛОДНОГО, ПОЛУГОРЯЧЕГО И ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ

к.т.н. А.И.Хыбеяги (Таллин)

В течение последних лет технология обработки полостей матриц и штампов методом выдавливания развивалась в различных направлениях. Были разработаны новые варианты холодного выдавливания с заниженным удельным давлением, внедрен процесс выдавливания при помощи мастер-матрицы, разработана технология полугорячего выдавливания, исследованы процессы горячего выдавливания на механических прессах и пороховых копрах. Наличие целого ряда технологических возможностей процессов обработки выдавливанием затрудняет выбор оптимального варианта для каждого конкретного случая. Кроме того, технологические особенности полугорячего и горячего выдавливания из-за ограниченного объема внедрения этих процессов полностью не выявлены. Все это затрудняет определение областей применения тех или иных вариантов выдавливания. Учитывая еще, что многие заводы, имея только прессы определенного типа и при этом с ограниченной мощностью, не всегда могут определить возможности осуществления процесса обработки выдавливанием. Поскольку большинство заводов не имеет специальных гидравлических прессов для холодного выдавливания и мощных механических прессов с усилием свыше 1000 тс, то выявление возможностей обработки полостей выдавливанием на прессах различных типов и с ограниченным усилием является весьма актуальным.

Технологические особенности процесса холодного выдавливания, особенно способа закрытого выдавливания, хорошо известны. Однако следует обратить внимание на различные варианты полузакрытого способа выдавливания [1] (рис.1), так как выбором подходящего варианта можно значительно снизить удельное давление выдавливания, и тем самым получить возможность произвести процесс на прессе меньшего усилия. Кроме того, увеличивается стойкость мас-

тер-пуансона, что также является важным показателем при обработке выдавливанием матриц многоместных пресс-форм.

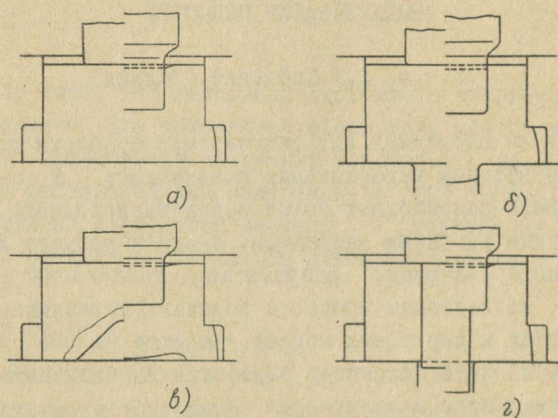


Рис. I. Полузакрытый способ выдавливания (а) с применением приемника (б) нижней камеры (в) и сквозной камеры (г).

В табл. I приводятся величины удельных давлений выдавливания при различных относительных глубинах цилиндрических полостей с плоским дном для некоторых вариантов выдавливания (для обработки заготовок матриц из стали 10 с твердостью II0HB).

Из табл. I следует, что по сравнению с закрытым способом выдавливания выбором облегченного варианта процесса можно снизить удельное давление, а соответственно и усилие выдавливания до 45%. Таким образом, при выдавливании полостей с относительной глубиной менее 0,4 в малоуглеродистые стали на прессе с наибольшим усилием 500 тс можно обрабатывать полость величиной площади в плане 4000 мм^2 (диаметром $\sim 70 \text{ мм}$), для обработки которой закрытым способом потребовался бы пресс с усилием 1000 тс. Однако облегченные способы выдавливания применимы только при заготовках

из стали с повышенной пластичностью (стали А^х, 10 и 20), так как при выдавливании полостей в малопластичные материалы могут образоваться трещины в полости или на наружных поверхностях заготовки.

Технологические особенности полугорячего выдавливания освещены более подробно в статьях инженера А.Д.Кахара, помещенных в настоящем сборнике. Однако необходимо отметить, что процесс выдавливания в заготовку с низким нагревом на 200 °С разработан и широко внедрен на предприятиях ГДР [2]. Но удельное давление выдавливания при обработке легированных сталей при этом составляет 260-280 кг/мм². Очевидно, из-за высоких удельных давлений стойкость мастер-пуансонов занижена и для обработки полостей средних размеров необходимо применять прессы большой мощности (1000 и 2000 тс).

По сравнению с выдавливанием с низким нагревом процесс полугорячего выдавливания имеет целый ряд технологических преимуществ. Наиболее существенными из них являются почти двукратное снижение удельного давления выдавливания ($p_T = 130-160 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$) и хорошее заполнение рельефа мастер-пуансона даже при выдавливании его в заготовки из легированных инструментальных сталей (7ХЗ, ЗХ2В8, Х12). Однако из-за нагрева заготовок на 600-720 °С длительный контакт между пуансоном и нагретой заготовкой исключается и процесс должен быть произведен на быстроходных гидравлических или механических прессах при наличии нагревательных печей. Необходимо обратить внимание на почти полное отсутствие окисления на поверхности выдавленных полостей. Соответственно снижению удельного давления также снижена в два раза потребная мощность оборудования. Например, на прессах средней мощности (300-500 тс) можно получить полости средних размеров величиной площади в плане 2500-4000 мм² ($d = 55-70$ мм). Для обработки полостей больших размеров на прессах средней мощности необходимо еще снизить удельное давление выдавливания за счет некоторого ухудшения качества поверхности полости из-за окисления, возникающей при высоких температурах нагрева заготовок.

^х Низкоуглеродистая сталь марки А (ЧМТУ 2900-56), распространено название "Армко".

Степень снижения значений интенсивности напряженного состояния σ_i и соответствующие изменения удельного давления выдавливания для сталей 5ХНМ, 3Х2В8 и Х12Ф приведены на рис.2. Здесь значения σ_i определены по данным Н.П. Агеева [4], значения удельного давления выдавливания определены экспериментально при выдавливании цилиндрического пуансона с плоским торцом в заготовки с отношением $D:d=2,0$ на чеканочном прессе.

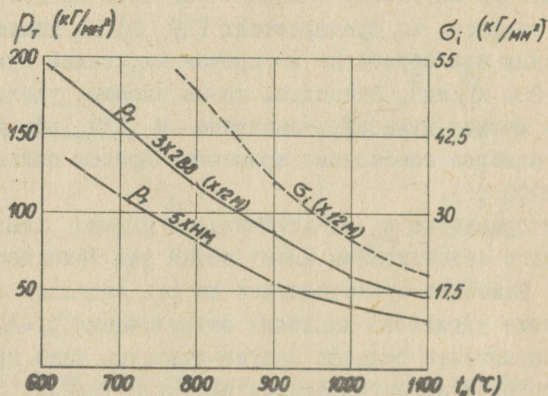


Рис. 2. Зависимость удельного давления выдавливания p_T и интенсивности напряженного состояния σ_i от температуры заготовки t_k для сталей 3Х2В8, Х12М и 5ХНМ.

Экспериментальные исследования горячего процесса выдавливания, проведенные инженером К. Ааса в ПТНИИ, дали следующие результаты.

Диаграмма p_T-h/d для стали 3Х2В8Ф для температур 710–1100°С (рис.3) показывает, что, действительно, снижение удельного давления при температурах заготовок 1000–1100°С по сравнению с полугорячим выдавливанием значительное.

Удельное давление выдавливания цилиндрического пуансона с плоским торцом при 1000°С составляет для стали марок:

12ХН3А	– 38 кг/мм ² ;	5ХНМ	– 36 кг/мм ² ;
7ХЗ	– 39 кг/мм ² ;	3Х2В8Ф	– 68 кг/мм ² ;
Х12М	– 64 кг/мм ²		

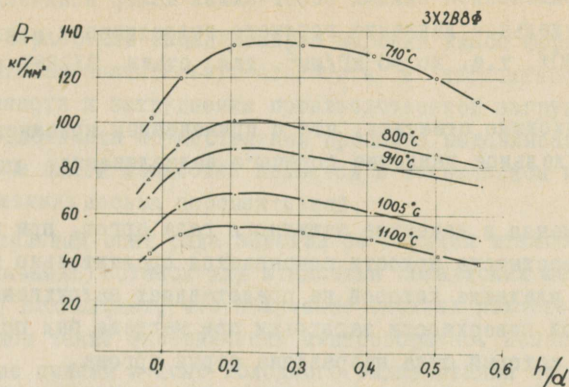


Рис. 3. Влияние температуры заготовки на силовой режим полузакрытого выдавливания в заготовку из стали 3X2B8Ф.

Эти значения относятся к полузакрытому способу выдавливания (рис. 1а). По сравнению с закрытым способом выдавливания снижение удельного давления при полузакрытом процессе составляет 20-23%.

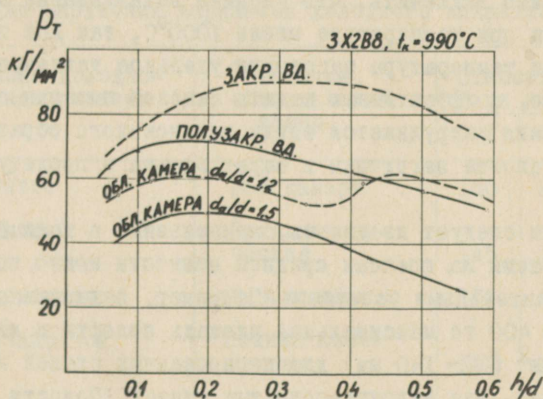


Рис. 4. Силовые режимы закрытого и полузакрытого способа выдавливания, влияние относительного диаметра нижней конической камеры d_a/d на силовой режим полузакрытого выдавливания в сталь 3X2B8 при температуре 990°C .

С применением нижних облегчающих камер конической формы (рис. 1в) удельное давление горячего выдавливания можно снизить еще на 20-30%, т.е. до 50 кг/мм^2 для стали ЗХ2В8ф при 1000°C (рис. 4).

Необходимо отметить, что с применением приемного кольца (рис. 1б) удельное давление горячего выдавливания даже немного повышается.

Применяя в качестве защитного газа аргон, при нагреве заготовок поверхность полости покрывается сравнительно тонким слоем окалины, удаление которой не представляет затруднений. Для защиты лицевой поверхности заготовки при нагреве был применен колпачок, под который была направлена струя аргона.

Размеры мастер-пуансона при горячем выдавливании необходимо определить с учетом температурной усадки размеров полости (при 1000°C - 1,2%).

Размеры полости имеют отклонения в пределах $\pm(0,06-0,08)$ мм при диаметре полости 25 мм и соответствуют 4-му классу точности.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментальных работ можно заключить, что горячее выдавливание целесообразно произвести при температуре около 1000°C , так как при дальнейшем повышении температуры заготовки удельное давление снижается незначительно, а эффективная защита лицевой поверхности заготовки от окисления затрудняется ввиду интенсивного образования окалины при установке заготовки в пакет штампа и последующем охлаждении его.

Как следует из данных, приведенных в табл.2, при горячем выдавливании на прессах средней мощности можно получить полости со значительными размерами. Например, выдавливанием на пресе с усилием 400 тс максимальная площадь полости в плане составляет 16000 мм^2 ($d \approx 140 \text{ мм}$) для легированных сталей и 20000 мм^2 ($d \approx 160 \text{ мм}$) - для малоуглеродистых сталей. Полости средних размеров можно получить выдавливанием уже на прессах с усилием 160-250 тс. Таким образом, при отсутствии на заводе специальных или механических прессов большой мощности, можно, применяя тщательные меры для предохранения лицевой поверхности заготовки от

окисления, обработать выдавливанием широкии класс формирующих полостей. Учитывая значительную стоимость и дефицитность прессов большой мощности и затруднения производственной загрузки таких прессов, возможность осуществления процесса выдавливания на прессах средней и малой мощностей является в техническом и экономическом отношениях весьма перспективной.

Длительный опыт ряда заводов по горячей штамповке (горячему выдавливанию) вставок для штамповки конических шестерен с зубьями [3] показывает, что получение сложных полостей штампов таким методом также экономически целесообразно. Используя технологические приемы и опыт холодного выдавливания при разработке методов полугорячего и горячего выдавливания, можно еще расширить область применения этого весьма перспективного технологического процесса.

Таблица I

Величины удельных давлений p_r (кГ/мм²)
для различных вариантов холодного выдавливания

№ п.п.	Способы холодного выдавливания	Наличие облегчающих камер	Относительная глубина полости h/d			
			0,2	0,4	0,6	0,8
1	Закрытое	Без камеры	180	200	208	215
2	Закрытое	Нижняя коническая	145	170	218	223
3	Полузакрытое	Без камеры	152	168	172	176
4	Полузакрытое	Нижняя коническая	122	126	176	182
5	Полузакрытое	Сквозная	85	122	160	192

Таблица 2

Приближенные величины наибольшего эквивалентного диаметра выдавливаемых полостей (в мм) в зависимости от удельного давления выдавливания и усилия применяемого пресса (для обработки легированных сталей)

Усилие пресса (тс)	Удельное давление выдавливания p_T кг/мм ²						
	280	240	160	120	80	40	25
	Холодное выдавлвл. [5]		Полугорячее вы- давл. ($\approx 700^\circ\text{C}$)		Горячее вы- давл. (1000°C)		
	3X2B8	7X3	3X2B8	5XHM	3X2B8	5XHM	5XHM (1100°C)
2500	<u>106</u>	115	141	163	200	282	357
2000	95	<u>103</u>	126	146	180	252	320
1600	85	92	<u>113</u>	130	160	226	286
1000	68	73	89	<u>103</u>	126	180	226
630	54	58	71	82	<u>100</u>	140	180
400	43	46	57	65	80	<u>113</u>	143
250	34	37	45	52	63	89	<u>113</u>
160	27	30	36	41	50	71	90

Л и т е р а т у р а

1. Хыбеяги А.И. Обработка вдавливанием, вып. I-3. Листок технической информации Латинти, 1967.
2. Möckel, L. Wirtschaftliche Gesenkherstellung durch Kalteinsenken. "Fertigungstechnik und Betrieb", 1962, Nr.12.
3. Федоров Л.И. Точная штамповка зубчатых колес. Минск, 1967.
4. Агеев Н.П. Сопротивление деформированию легированных сталей при горячей обработке давлением. ЛДНТП, Ленинград, 1965.
5. РТМ II3-63 - Выдавливание холодное полостей формообразующих рабочих деталей пресс-форм и штампов. Изд-во стандартов, 1964.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ПОЛУГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ В ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ

Инж. А.Ю. Кахар (Таллин)

Широко применяется в настоящее время холодное выдавливание полостей формообразующих рабочих деталей пресс-форм и штампов. Однако выдавливание относительно глубоких полостей в легированные инструментальные стали в холодном состоянии практически невозможно из-за высокого удельного давления ($p_T > 300 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$) и малой пластичности материала заготовок.

Чтобы снизить удельное давление при выдавливании и повысить пластичность материала заготовок, можно применять полугорячий способ выдавливания.

При температурах выше $500-700^\circ\text{C}$ в сталях происходит процесс рекристаллизации. В результате этого снижается предел прочности и повышается пластичность материала заготовок. Снижение предела прочности (σ_b) сталей при растяжении при температурах выше 600°C составляет примерно 40-70%, зато пластичность повышается (относительное сужение площади поперечного сечения образца при разрыве ψ составляет 60-90%). На основе цифровых значений механических свойств материалов при высоких температурах, приведенных в литературе [1, 2], можно ожидать, что подходящие температуры выдавливания находятся в интервале $550-800^\circ\text{C}$. При температурах ниже 550°C снижение σ_b и повышение ψ незначительны. При температурах выше 800°C снижается пластичность материалов и начинается интенсивное образование окислы.

С целью выяснения возможностей полугорячего выдавливания полостей матриц в ПТНИИ проведены экспериментальные работы для определения оптимальных температур выдавливания для разных марок сталей. Оптимальной при этом считалась такая температура, при которой удельное давление достаточно низкое ($p_T < 180 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$), выдавленная полость и свободные поверхности заготовки без трещин и образование окислы незначительное. Эксперименты проводились на гидравлическом прессе типа ПО-54 и чеканочном прессе модели К846В в нагрываемой обойме по способу полузакрытого выдав-

ливания (рис. 1). Предварительный нагрев заготовок осуществлялся в электропечи МП-2М. Смазкой для мастер-пуансона служило омеднение с последующим покрытием слоя молибдено-сульфидной смазкой № 232. Относительные размеры заготовок были следующие: $\frac{D}{d} = 2$; $(\frac{h}{d})_{\text{макс.}} = 0,6$; $\frac{H}{h} = 2$ (D - диаметр заготовки; H - высота заготовки; $d = 25,2$ - диаметр рабочей части мастер-пуансона; h - глубина полости).

В процессе выдавливания на осциллографе Н102 были записаны диаграммы усилия выдавливания (P) и глубины полости (h).

Погрешность измерения температуры нагрева заготовок находилась в пределах ± 10 град. и усилия выдавливания ± 2500 кг (погрешность измерения удельного давления соответственно $\pm 5 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$).

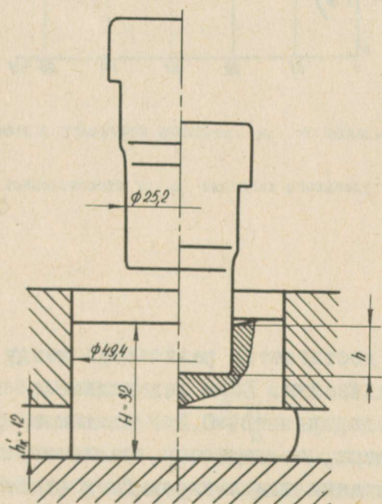


Рис. 1. Схема выдавливания.

По результатам экспериментов были построены диаграммы $p_r - \frac{h}{d}$ при разных температурах выдавливания (p_r - удельное давление; $\frac{h}{d}$ - относительная глубина полости). На рис. 2 дана диа-

грамма $p_r - \frac{h}{d}$ для стали 20. Температура рекристаллизации для углеродистых сталей (10, 20, 45, У10А) достаточно низкая ($\sim 450-550^{\circ}\text{C}$) по сравнению с температурами выдавливания ($\sim 550-750^{\circ}\text{C}$). Поэтому при $\frac{h}{d} \gg 0,2$ удельное давление остается

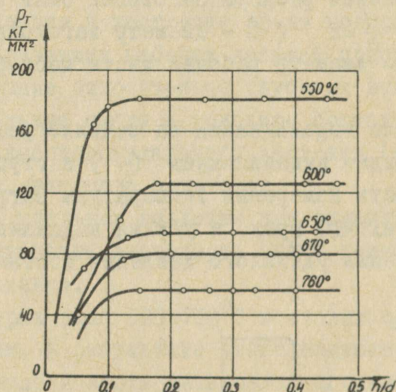


Рис. 2. Зависимость удельного давления p_r от относительной глубины полости $\frac{h}{d}$ для стали 20.

постоянным, так как достигается равновесие между процессами упрочнения и рекристаллизации. Если выдавливание производится в легированные стали, то при $\frac{h}{d} \gg 0,2$ удельное давление падает (рис. 3). Причина здесь, по-видимому, заключается в том, что температура рекристаллизации для легированных сталей значительно выше и близка к температурам выдавливания ($\sim 600-750^{\circ}\text{C}$). В начальной стадии выдавливания упрочнение происходит быстрее, чем рекристаллизация. Но при деформировании температура рекристаллизации снижается, процессы рекристаллизации становятся более интенсивными и часть упрочнения снимается, в результате чего удельное давление падает.

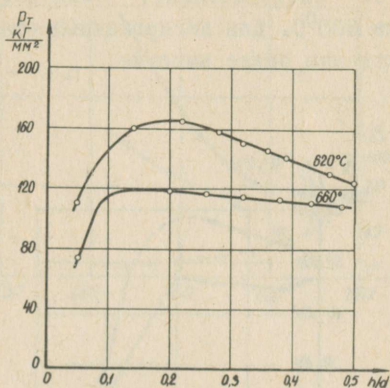


Рис. 3. Зависимость удельного давления p_T от относительной глубины полости для стали 4ХС.

На основе диаграмм $p_T - \frac{h}{d}$ (рис. 2, 3) можно заключить, что зависимость максимальной глубины выдавленной полости при полугорячем выдавливании от прочности мастер-пуансона иная, чем при холодном выдавливании. При полугорячем выдавливании максимальная глубина полости ограничивается, в основном, теплостойкостью материала мастер-пуансона, а также скоростью и температурой выдавливания (разумеется, при соответствующих размерах заготовки).

На основе диаграммы $p_T - \frac{h}{d}$ для стали 20 (рис. 2) был построен график зависимости $p_T - t$ (рис. 4) (t - температура выдавливания). Сравнение последнего с диаграммой $\sigma_b - t$ (рис. 4) показывает, что их поведение с повышением температуры одинаковое.

Резкое снижение (от 12% до 60%) удельного давления наблюдается в интервале 550–650⁰С. Следовательно, температура выдавливания должна быть не ниже 600⁰С. Для легированных сталей температуры выдавливания, естественно, более высокие.

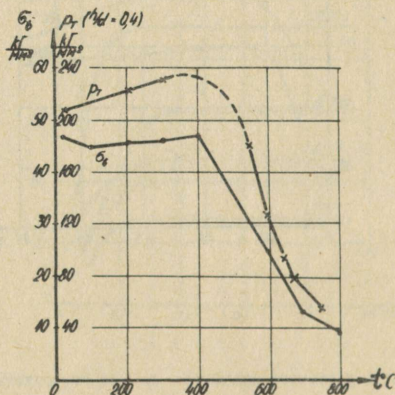


Рис. 4. Зависимость удельного давления p_r от температуры t для стали 20.

Однако как было отмечено выше, при выборе оптимальных температур выдавливания необходимо учитывать и качество получаемых полостей, т.е. отсутствие трещин в полости и на свободных поверхностях заготовки. Для этого необходимо, чтобы при полузакрытом выдавливании, с некоторым запасом, значение $\psi \geq 30-40\%$. Что касается чистоты поверхности полостей, то на боковых поверхностях

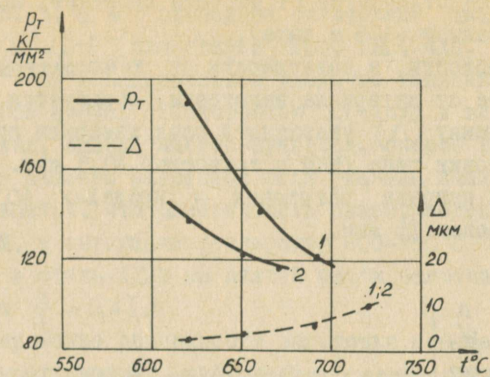


Рис. 5. Зависимость удельного давления p_T и толщины слоя окиси Δ от температуры t : 1 - сталь ХВГ; 2 - сталь УЮА.

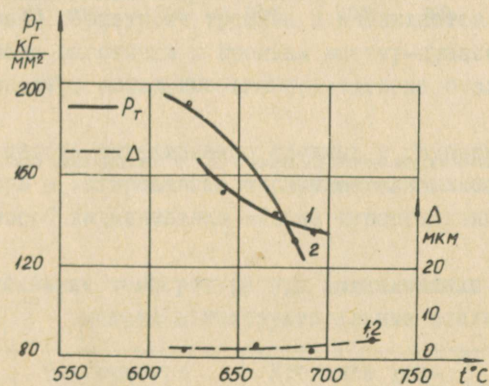


Рис. 6. Зависимость удельного давления p_T и толщины слоя окиси Δ от температуры t : 1 - сталь 4ХС; 2 - сталь 5ХЗ2С.

это фактически не отличается от чистоты полостей, полученных холодным выдавливанием ($\nabla 8$ и выше).

На дне полости, в зависимости от температуры и времени нагрева, а также от материала заготовки, образуется небольшой слой окиси. Толщину (Δ) указанного слоя измерили при помощи измерительной головки типа 1МКМ с точностью $\pm 0,5$ мкм. Выяснилось, что при времени нагрева заготовок в пределах 40 ± 10 мин она составляет не более 15 мкм.

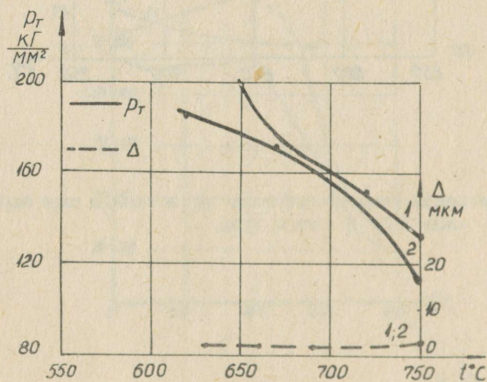


Рис. 7. Зависимость удельного давления p_r и толщины слоя окиси Δ от температуры: 1 - сталь 3Х2В8; 2 - сталь Х12М.

На рис. 5, 6 и 7 приведены совместные диаграммы зависимости p_r-t и $\Delta-t$ для сталей У10А, ХВГ, 4ХС, 5ХВ2С, 3Х2В8 и Х12М. Здесь p_r - максимальное удельное давление при выдавливании на прессе К-846В со скоростью 33 хода в минуту. Способ нагрева заготовок, смазка мастер-пуансона, способ выдавливания и относительные размеры заготовок были указаны выше.

Оказывается, что пластичность вышеприведенных сталей, кроме стали Х12М, в интервале температур 600-750°C достаточная. При выдавливании в сталь Х12М на нижней части заготовки образовались трещины (если $\frac{h}{d} > 0,4$).

Оксидирование поверхности заготовки при нагреве существенно не снижает чистоты поверхности, если слой окиси тонкий ($\Delta < 4-5$ мкм) и плотный.

Исходя из этих соображений, на основе диаграмм (рис. 5, 6 и 7) для вышеприведенных сталей можно рекомендовать температуры выдавливания, приведенные в таблице. При необходимости, учитывая изменение p_r и Δ можно повысить или понизить температуры выдавливания.

При выдавливании в стали Х12М следует учесть, что относительная глубина полости $\frac{h}{d}$ была бы не более 0,4. Если $\frac{h}{d} > 0,4$, то на заготовке образуются трещины и наблюдается сильное прилипание материала заготовки к кромкам мастер-пуансона. При выдавливании полостей в остальные вышеприведенные стали прилипание не наблюдалось.

Возможность выдавливания сложных и глубоких полостей матриц пресс-форм в легированные инструментальные стали делает полугорячий способ выдавливания весьма перспективным.

Оптимальные температуры при выдавливании полостей матриц в инструментальные стали

Марка материала заготовки	Температура выдавливания, °C	Удельное давление выдавливания, $\frac{кг}{мм^2}$	Толщина слоя окиси, мкм
У10А	620-650	140-120	3-4
ХВГ	640-670	160-130	3-5

Марка материала заготовки	Температура выдавливания, °С	Удельное давление выдавливания, $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	Толщина слоя окиси, мкм
4ХС	630-680	160-140	2-3
5ХВ2С	650-680	170-130	2-3
3Х2В8	700-740	160-140	2-3
Х12М	700-750	160-110	2-3

Л и т е р а т у р а

1. Третьяков А.В. и др. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Изд.-во "Металлургия", 1964.

2. Справочник по машиностроительным материалам, том I. Машгиз, 1959.

О ТОЧНОСТИ ВЫДАВЛЕННЫХ ПОЛОСТЕЙ МАТРИЦ ПРЕСС-ФОРМ И ШТАМПОВ

Инж. А.Ю. Кахар (Таллин)

Точность полостей матриц, изготовленных выдавливанием, еще мало изучена. В то же время вопрос точности, особенно при полугорячем выдавливании, может оказаться решающим при выборе того или другого метода выдавливания. В настоящей статье приведены некоторые сведения о точности полостей, выдавленных в холодном и полугорячем (при температурах 600–800⁰С) состоянии.

При изготовлении полостей методом выдавливания необходимо уделять внимание и соответствию профилей выдавленной полости и рабочей части мастер-пуансона (первая часть статьи), помимо точности размеров полостей (вторая часть статьи).

Соответствие профилей выдавленной полости и рабочей части мастер-пуансона.

Сравнение некоторых полостей, выдавленных холодным и полугорячим способами одним и тем же мастер-пуансоном, дает следующие результаты. Уступы и внутренние радиусы величиной 0,3–0,5 мм на боковой поверхности мастер-пуансона при полугорячем выдавливании заполняются полностью. При холодном выдавливании радиусы остались незаполненными. Некоторые полости с ребрами приведены на рис. 1. Видно, что на ребре полости, выдавленной холодным способом, образовались глубокие трещины. Зато полость, полученная полугорячим способом, не имеет никаких дефектов.

Результаты экспериментов показывают, что уступы и внутренние радиусы ($R=0,3-0,5$ мм) на торце мастер-пуансона при полугорячем выдавливании заполняются полностью. При холодном выдавливании эти радиусы не заполнялись. Рельеф на торце мастер-пуансона при полугорячем выдавливании заполнялся почти полностью. При холодном выдавливании рельеф заполнялся гораздо хуже.

При полугорячем выдавливании хорошо заполняются внутренние полости и выемки на торце мастер-пуансона. На основании соот-

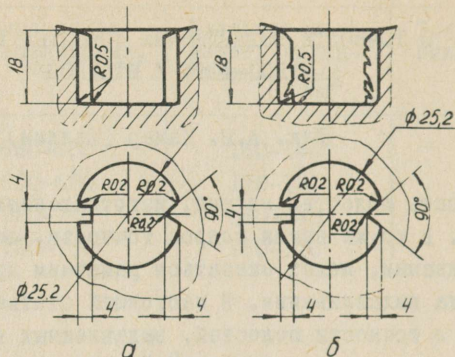


Рис. 1. Полости, выдавленные : а) в полугорячем состоянии (620°C , сталь 4ХС); б) в холодном состоянии (сталь 10).

ответственно поставленных экспериментов были построены графики зависимости течения материала во внутреннюю полость мастер-пуансона ($\frac{h_1}{d_1}$) и усилия выдавливания (P) от относительной глубины ($\frac{h}{d}$) выдавливаемой полости (рис.2) для холодного и полугорячего процессов. Сравнение графиков (рис.2) подтверждает, что при

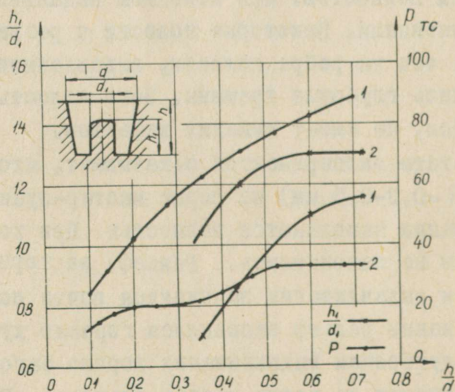


Рис. 2. Течение материала во внутреннюю полость мастер-пуансона ($\frac{h_1}{d_1}$) и усилие выдавливания (P) в зависимости от относительной глубины полости: 1 - холодное выдавливание (сталь 10); 2 - полугорячее выдавливание (620°C ; сталь 45).

полугорячем выдавливании течение материала во внутренние полости мастер-пуансона происходит значительно интенсивнее, чем при холодном выдавливании. Оказалось, что при $\frac{h}{d} \geq 0,6$ внутренняя полость мастер-пуансона при полугорячем выдавливании полностью заполнялась $\frac{h_1}{d_1} = 1,3$. Это подтверждает и резкий подъем потребного усилия при относительной глубине полости $\frac{h}{d} = 0,35-0,55$.

Сравнение некоторых других полостей, выдавленных в холодном и полугорячем состоянии, также подтверждает, что заполнение внутренних полостей на мастер-пуансоне при полугорячем выдавливании гораздо лучше. Кроме того, при полугорячем выдавливании удовлетворительно заполнялись даже внутренние радиусы ($R=0,5-1,0$ мм) на внутренних полостях мастер-пуансона, чего не замечено при холодном выдавливании.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что при полугорячем выдавливании соответствие профилей выдавленной полости и рабочей части мастер-пуансона не хуже, чем при холодном выдавливании. Отпечаток рельефа мастер-пуансона на полости при полугорячем выдавливании получается более четким, и заполнение полостей и выемок на мастер-пуансоне лучше, чем при холодном выдавливании.

Точность размеров полостей.

На точность размеров выдавленных полостей влияет множество различных факторов: упругие деформации мастер-пуансона во время выдавливания, жесткость обоймы, свойства материала заготовки, способ выдавливания и т.д. При полугорячем выдавливании прибавляются еще температурные факторы. Исследовать все эти факторы, которые влияют на точность размеров полостей, практически невозможно. Объем настоящей статьи позволяет охватить лишь некоторые отдельные вопросы, как определение поля рассеивания размеров полостей, полученных холодным и полугорячим выдавливанием, расчет упругих деформаций мастер-пуансона и определение уменьшения размеров полостей в результате усадки при полугорячем выдавливании.

В результате упругих деформаций размеры мастер-пуансона в направлении выдавливания уменьшаются и поперечные размеры увеличиваются. Так получается, что размеры мастер-пуансона во время оформления полости отличаются от размеров изготовления мастер-

пуансона. Однако изменения размеров мастер-пуансона в результате упругих деформаций можно определить заранее. Если известно удельное давление выдавливания, то размеры цилиндрического мастер-пуансона с уступом можно в первом приближении вычислять по формулам (1):

$$\left. \begin{aligned} d_y &= d_o \sqrt{\frac{E}{E - p_r}} = K_{dy} \cdot d_o \\ h_y &= h_o \left(1 - \frac{p_r}{E}\right) = K_{hy} \cdot d_o \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

d_y и h_y - соответственно диаметр мастер-пуансона и высота уступа на мастер-пуансоне во время выдавливания;

d_o и h_o - соответствующие размеры мастер-пуансона перед выдавливанием;

K_{dy} и K_{hy} - коэффициенты, учитывающие упругие деформации мастер-пуансона в радиальном (K_{dy}) и осевом (K_{hy}) направлениях;

E - модуль упругости;

p_r - удельное давление выдавливания.

Во время полугорячего выдавливания мастер-пуансон нагревается до температуры 250-300°C. Зато заготовка находится при температуре $t = 600-700^\circ\text{C}$ (t - температура выдавливания). Полагая, что в момент выдавливания соответствующие размеры полости и мастер-пуансона полностью совпадают, получаем:

$$d_M = \frac{1 + \alpha_n \cdot t_n}{1 + \alpha_M \cdot t} d_y = K_M \cdot d_y \quad (2)$$

d_M - диаметр выдавленной полости в холодном состоянии;
 K_M - коэффициент, учитывающий температурное уменьшение;
 α_n - коэффициент теплового расширения материала мастер-пуансона;

t_n - температура мастер-пуансона при выдавливании;

α_M - коэффициент теплового расширения материала заготовки.

Коэффициент K_m дает температурное уменьшение размеров полости и в радиальном, и в осевом направлениях. Однако он учитывает усадку только приближенно, так как точные значения α_n , α_m , t_n и t неизвестны.

Общие формулы для определения размеров полости матрицы с учетом упругих деформаций мастер-пуансона и температурной усадки заготовки следующие:

$$\left. \begin{aligned} d_m &= \frac{1 + \alpha_n \cdot t_n}{1 + \alpha_m \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{E}{E - p_r}} \cdot d_o = K_m \cdot K_{dy} \cdot d_o \\ h_m &= \frac{1 + \alpha_n \cdot t_n}{1 + \alpha_m \cdot t} \cdot \left(1 - \frac{p_r}{E}\right) \cdot h_o = K_m \cdot K_{hy} \cdot h_o \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

h_m - высота уступа выдавленной полости в холодном состоянии.

Для определения действительной точности в радиальном направлении полости были выдавлены по способу полузакрытого выдавливания в холодном и полугорячем состоянии. Выдавливание производилось цилиндрическим мастер-пуансоном диаметром рабочей части 25, 150 мм. После выдавливания измерили диаметры полостей в трех сечениях в разных направлениях. На основе измерений были построены соответствующие диаграммы (рис. 3), где приведены средние диаметры и полоса рассеивания их в пределах нескольких полостей, выдавленных в холодном ($d_{срх}$) и в полугорячем ($d_{срг}$) состоянии в зависимости от места измерения.

Оказывается, что общее рассеивание средних диаметров полостей, выдавленных в холодном состоянии, достигает 28 мкм. Это примерно соответствует классу точности 2а. Однако погрешность формы выдавленных полостей большая и достигает всего поля допуска.

Диаметр мастер-пуансона во время выдавливания составляет $d_y = 25,260$ мм (по формуле I). Оказывается, что действительный

диаметр полости $d_{срх}$ и диаметр мастер-пуансона во время выдавливания d_y не совпадают. Это явно вызвано тем, что на величину радиальных размеров полости влияет еще множество различных факторов, которые в формуле I не учтены.

Результаты измерений полостей, выдавленных полугорячим способом, показывают, что погрешности формы полостей значительно больше, чем при холодном выдавливании, особенно около дна полости (рис. 3). Общее рассеивание средних диаметров на разных полостях соответствует классу точности 3а.

Формула 3 для определения радиальных размеров полостей при полугорячем выдавливании также не является приемлемой. Однако сравнение $d_{ср2}$ и $K_m \cdot d_{срх}$ на диаграмме (рис. 3) показывает, что при относительной глубине полости $\frac{h_i}{d} \leq 0,35$ коэффициент K_m учитывает с достаточной точностью температурную усадку.

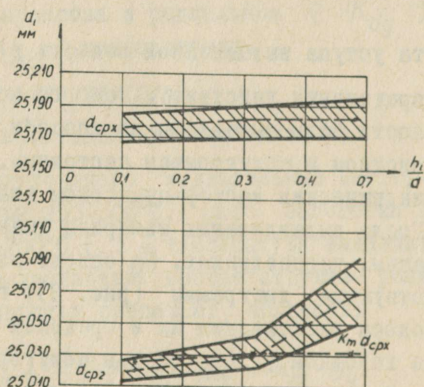


Рис. 3. Средний диаметр и полоса рассеивания его у полостей, выдавленных в холодном ($d_{срх}$) и в полугорячем ($d_{ср2}$) состояниях в зависимости от места измерения ($\frac{h_i}{d}$).

Для определения точности в осевом направлении были выдавлены некоторые полости с уступами. Сравнение вычисленных по формулам I и 3 (h_y и h_m) и действительных размеров полостей подтверждает, что их совпадение, кроме некоторых исключений, значительно лучше, чем в радиальном направлении. Отклонение действительных размеров от вычисленных не больше 20 мкм. Это соответствует 2-3-му классу точности.

Очевидно, на точность осевых размеров влияют, в основном, упругие деформации мастер-пуансона и температурное уменьшение размеров полостей. Поэтому применение формул I и 3 для определения осевых размеров изготовления мастер-пуансона (h_0) полностью оправдывает себя.

Радиальные размеры мастер-пуансона (d_0) для полугорячего выдавливания выбирают так же, как и при холодном выдавливании, учитывая дополнительно коэффициент K_m (формула 2).

Следовательно, по предварительным данным точность полостей, выдавленных в холодном состоянии, соответствует классу точности 2а. При полугорячем выдавливании достигаемая точность полостей снижается примерно на один класс, т.е. на класс 3а.

Пресс-формы для литья под давлением и молотовые штампы изготавливаются по 3-4-му классу точности. Следовательно, можно ожидать, что полугорячее выдавливание дает достаточную точность для изготовления пресс-форм и штампов.

В результате проведенных экспериментов выяснилось, что для разработки методики вычисления размеров изготовления мастер-пуансона, исходя из требуемых размеров полости, необходимо вести дальнейшие основательные исследования.

Л и т е р а т у р а

И. Кахар А.Ю., Хибмяги А.И. Обработка вдавливанием, вып. 4 (Специальные способы обработки и полугорячее вдавливание). Листок технической информации, Латинти, 1967.

ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛА
ЗАГОТОВКИ ПРИ ЗАКРЫТОМ ХОЛОДНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ

к.т.н. Д.П.Кузнецов, к.т.н. А.И.Хыбеяги, инж. А.В.Лясников
(Ленинград, Таллин)

Как известно, при деформировании по способу закрытого выдавливания в заготовке создается напряженное состояние, отвечающее схеме всестороннего неравномерного сжатия. В этих условиях обеспечивается высокая пластичность деформируемого материала, что позволяет осуществлять весьма большую деформацию без разрушения заготовки. Однако при формообразовании полостей матриц пресс-форм и деталей штампов выдавливанием часто величина деформации в отдельных зонах заготовки достигает таких больших значений, что оказывается возможным разрушение заготовки даже при благоприятной схеме напряженного состояния, что иногда наблюдается на практике. В связи с этим весьма важно для практики разработать методику расчета предельной величины деформации, при которой наступает разрушение материала заготовки. С целью решения указанной задачи авторами выполнены исследования деформированного состояния заготовки, основные результаты которых изложены в настоящей статье.

Материалом заготовок являлись: сталь марок А, 10, 15, латунь Л62, многослойный металл "медь-топак". Заготовки имели размеры: диаметр D - 20, 25, 30, 35, 40, 50 мм, высота H - 25, 30, 32, 35, 40 мм. Деформирование осуществляли пуансонами цилиндрической формы, диаметр рабочей части их составлял 13,5 и 25,2 мм. Торцы пуансонов имели различную форму: плоскую (с различной величиной радиуса сопряжения со стенкой) и сферическую. Отношение диаметра заготовки к диаметру полости $\frac{D}{d}$ составляло 1,5-3,7. Деформирование осуществляли на испытательных машинах ИМЧ-30, ГМС-50 и на прессе ПО-54Г.

Заготовки применяли как цельные, так и составные с плоскостью разбега по меридиональному сечению. На меридиональное се-

чение составных образцов нанесли сетку с круглыми и квадратными ячейками. Сетку с круглыми ячейками нанесли типографским и фотохимическим способами; номинальное значение диаметра ячеек составляло 0,5; 1,0; 2,0 мм. Сетку с квадратными ячейками нанесли на копировально-фрезерном станке специальным резцом. Номинальное значение стороны квадрата было равно 1,5 мм. Размеры ячеек сетки до и после деформации измеряли инструментальным микроскопом с точностью $\pm 0,01$ мм. Деформированное состояние определяли расчетом по изменению размеров ячеек сетки и измерением твердости на приборе ТП-2 (нагрузка составляла 5 кг).

I. Деформированное состояние в характерных сечениях заготовки.

Чтобы правильно выбрать методику расчета параметров деформированного состояния, необходимо установить, является ли исследуемый процесс монотонным. Как известно (2), процесс деформации какой-либо частицы можно считать монотонным, если соблюдены следующие два условия:

1) главные оси скорости деформации в течение всего процесса совпадают с одними и теми же материальными волокнами рассматриваемой частицы;

2) значение характеристики вида деформированного состояния ν_{ξ} рассматриваемой частицы остается в течение всего процесса неизменным.

Проверить, удовлетворяется ли в исследуемом процессе первое условие, технически весьма сложно. Поэтому в описываемых исследованиях для приближенного решения вопроса о монотонности ограничились проверкой только второго условия. С этой целью осуществляли деформирование двух составных заготовок с сеткой с круглыми ячейками. Деформирование заготовок производили в 4 этапа, для каждой стадии вычисляли значение ν_{ξ} в ячейках, расположенных в зоне очага интенсивной деформации. Расчет вели по следующим формулам:

$$\varepsilon_a = \ln \frac{2a}{d_0}; \quad \varepsilon_b = \ln \frac{2b}{d_0}; \quad \varepsilon_N = -(\varepsilon_a + \varepsilon_b)$$

$$\nu_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}; \quad \varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2},$$

где d_0 - диаметр ячейки сетки до деформации;

$2a, 2b$ - соответственно большая и малая главные оси эллипсов, образовавшихся в процессе деформации из окружностей;

$\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_N$ - главные компоненты деформации соответственно в направлениях главных осей эллипса и нормали к меридиональному сечению заготовки, которым придаются индексы 1, 2, 3 по условию $\varepsilon_1 \gg \varepsilon_2 \gg \varepsilon_3$;

ε_i - интенсивность итоговой деформации.

Расчетами установлено, что значение ν_ε для ячеек, расположенных на оси симметрии заготовок, находится в пределах от 0,8 до 1,0, тогда как теоретически в зоне оси симметрии вид деформированного состояния есть простое сжатие и, следовательно, ν_ε должно быть равным единице. Причинами отклонения расчетных значений ν_ε от теоретического являются неизбежное несоответствие реальных условий деформирования идеальным и неизбежные случайные ошибки измерения.

Таким образом, можно считать, что в данном случае второе условие монотонности приблизительно удовлетворяется, если в рассматриваемой ячейке значение ν_ε в различных стадиях изменяется не более чем на 20%.

Анализ результатов расчета ν_ε дает основание считать, что процесс закрытого выдавливания при осесимметричной деформации является приблизительно монотонным. Следовательно, для определения параметров деформированного состояния в интересующей стадии деформации достаточно сопоставить ее размеры до и после деформации. На этом основании все дальнейшие расчеты производили: при обработке сетки с круглыми ячейками по вышеприведенным формулам, а при обработке сетки с квадратными ячейками - по методике, вытекающей из теории аналитической обработки искаженной деформацией координатной сетки при осесимметричной деформации, разрабо-

танной д.т.н. проф. Г.А. Смирновым-Аляевым и к.т.н. В.М. Розенберг [3]. В последнем случае расчеты выполнены с помощью электронной вычислительной машины "Урал".

При деформировании пуансоном с плоским торцом на распределение деформации по объему заготовки большое влияние оказывает радиус r_0 сопряжения торца пуансона со стенкой.

На рис. 1 изображены графики изменения параметров ε_a , ε_b , ε_N и ε_i по оси симметрии и в поперечном сечении AA, проходящем через зону наибольшей деформации, для заготовки с отношением $\frac{D}{d} = 2,2$. При этом радиус r_0 имел относительно небольшую величину - $\frac{r_0}{d} = 0,09$. Как видно из рис. 1а, в зоне оси симметрии наблюдается значительная неравномерность деформации. Непосредственно под торцом пуансона образуется застойная зона. Участок наибольшей деформации находится от торца пуансона на расстоянии, примерно равном $\frac{d}{2}$. При увеличении радиуса закругления кромки пуансона характер графика ε_i по оси симметрии сохраняется, однако, зона наибольшей деформации приближается к торцу пуансона (рис. 2), вследствие чего застойная зона уменьшается. В поперечном сечении, как это следует из рис. 1б, деформация распределяется также неравномерно. Во всех поперечных сечениях, не проходящих через застойную зону, деформация убывает от центра к периферии. У заготовки с отношением $\frac{D}{d} < 3$ деформация распространяется на все ее поперечное сечение; при деформировании заготовки с отношением $\frac{D}{d} > 3$ деформируется только центральная часть, при этом наибольший поперечный размер зоны пластической деформации составляет примерно $3d$. Особый интерес представляет тот факт, что в меридиональном сечении (исключая область стенки заготовки) линии примерно одинаковых значений ε_i во всех стадиях представляют собой дуги окружностей (ст. рис. 2 в этом сборнике).

При деформировании пуансоном со сферическим торцом на распределение деформации в осевом направлении оказывает влияние высота h_0 сферической части торца пуансона. На рис. 3 показаны графики изменения ε_i по оси симметрии для заготовок, деформированных пуансонами со сферическим торцом разной высоты.

Результаты эксперимента показывают, что при относительно небольшой высоте сферической части пуансона ($\frac{h_0}{d} \approx 0,12$) застойная зона оказывается весьма малой, а при $\frac{h_0}{d} > 0,2$ она совсем отсутствует, при этом зона наибольшей деформации находится непосредст-

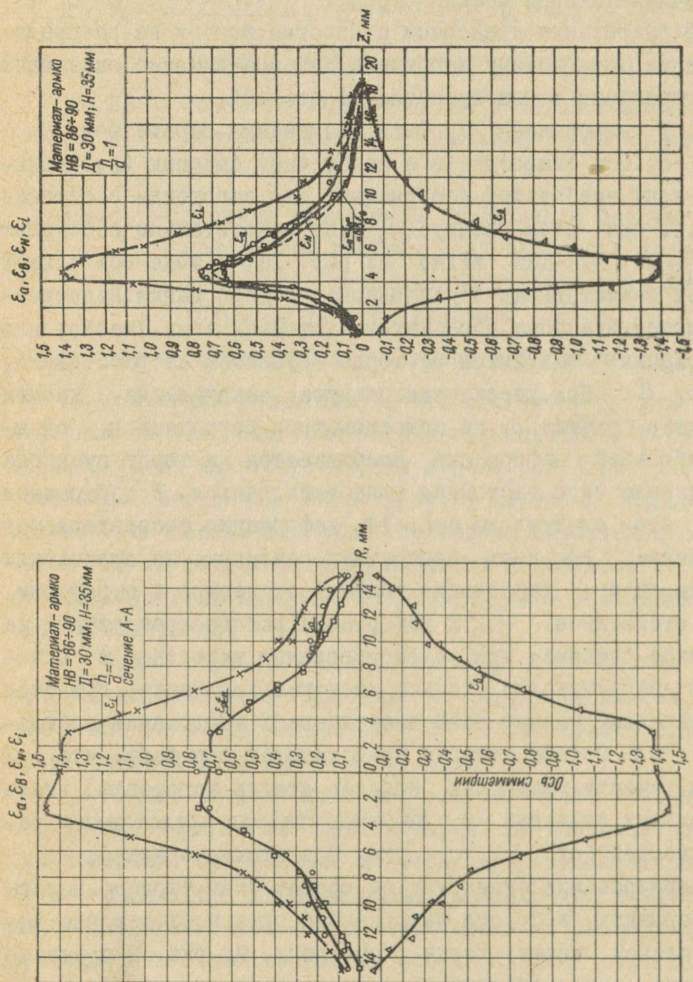


Рис. 1. Графики изменения $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_\phi, \varepsilon_i$ по оси симметрии (а) и в поперечном сечении АА заготовки (б).
 $\frac{1}{2} \mu = 0,09$
 $\frac{1}{2} D = 2,23$

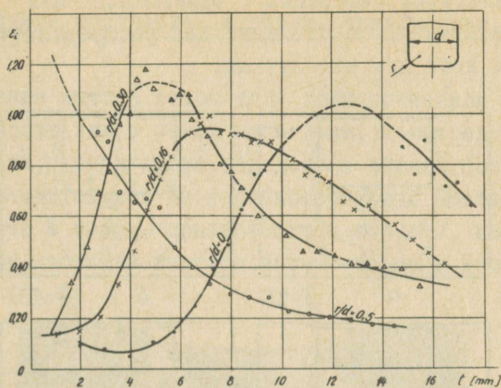


Рис. 2. Графики изменения ϵ_i по оси симметрии заготовки при различных значениях радиуса сопряжения плоского торца пуансона со стенкой.

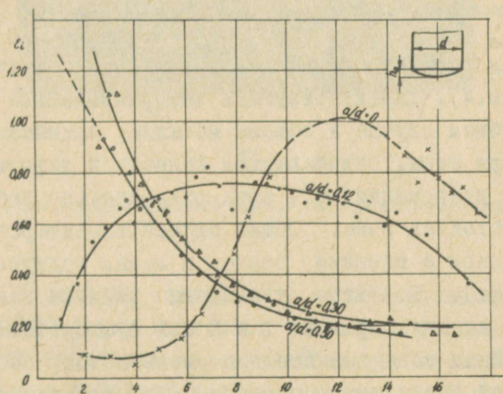


Рис. 3. Графики изменения ϵ_i по оси симметрии заготовки при различной высоте сферической части торца пуансона.

венно под пуансоном. Интересно отметить, что при отношении $\frac{h_0}{d} \approx 0,12$ деформация по толщине дна распределяется более равномерно, чем во всех других случаях.

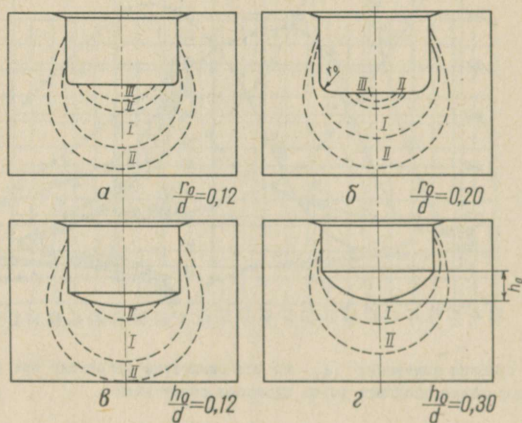
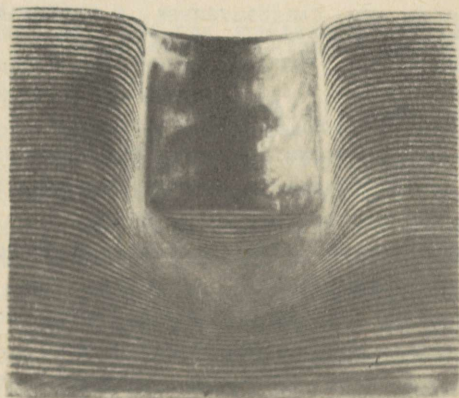


Рис. 4. Схема деформированного состояния заготовки: I - зона наибольшей деформации; II - зона относительно небольшой деформации, III - застойная зона.

Обобщая результаты исследования, можно составить следующую схему (рис.4), характеризующую деформированное состояние заготовки: в общем случае в объеме металла, примыкающем к полости, наблюдается три зоны, отличающихся величиной деформации: I - зона наибольшей деформации, II - зона относительно небольшой деформации, III - застойная зона. Общий случай характерен для деформирования пуансоном с плоским торцом и малым радиусом закругления кромки (рис. 4а). По мере увеличения радиуса закругления r_0 , расположение внешних границ I и II зон существенно не меняется, однако, застойная зона значительно уменьшается, сосредотачиваясь лишь у плоской части торца пуансона. При деформировании пуансоном со сферическим торцом застойная зона весьма мала или вовсе отсутствует (рис. 4в и г). По мере увеличения отношения $\frac{h_0}{d}$ зоны I и II уменьшаются по объему и перемещаются к торцу пуансона (рис. 4г).

2. Деформированное состояние в зонах, прилегающих к полости заготовки.

Применение метода сеток для количественной оценки деформированного состояния в зонах заготовки, непосредственно прилегающих к полости, затруднено вследствие очень большой величины деформации и значительной ее неравномерности. Поэтому деформированное состояние в зонах, прилегающих к полости, исследовали моделированием процесса на многослойном металле и измерением твердости.



a

Рис. 5. Фотоснимки меридионального сечения заготовок, деформированных пуансоном с плоским торцем.

На рис. 5 показан фотоснимок меридионального сечения заготовок, деформированных пуансоном с плоским торцем. При этом поверхностный слой заготовки имеет наибольшую неравномерность деформации. Наиболее деформированной является зона перехода от дна к стенке полости. В этой зоне на практике иногда наблюдается разрушение материала заготовки.

При вдавливании пуансона со сферическим торцем поверхностный слой деформируется более равномерно, чем в предыдущем случае.

Этим объясняется тот факт, что при деформировании пуансоном со сферическим торцем удается получить без нарушения сплошности более глубокие полости, чем при вдавливании пуансона с плоским торцем.

Результаты измерения твердости согласовываются с общей картиной деформированного состояния, наблюдаемой на модели из многослойного металла.

На рис. 6 приведены значения твердости по Виккерсу в меридиональном сечении и на боковой поверхности полости для двух крайних из исследованных форм полости. Как и следовало ожидать, наибольшая твердость, а, следовательно, и наибольшая деформация наблюдаются на боковой поверхности полости.

3. Разрушение^x материала заготовки.

Из теории пластичности известно, что величина пластической деформации металла, получаемая к моменту его разрушения, зависит не только от химического состава и структуры этого материала, но и от условий деформирования. Одним из основных факторов, характеризующих условие деформирования, является схема напряженного состояния. Профессор Г.А.Смирнов-Аляев предложил оценивать схему напряженного состояния показателем "жесткости" Π , который представляет собой отношение суммы главных компонентов напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 к интенсивности напряжений σ_i в рассматриваемой точке, т.е.:
$$\Pi = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$$

Экспериментальным исследованием А.А.Лабутина [4], выполненным под руководством д.т.н. проф. Г.А.Смирнова-Аляева, установлено, что влияние схемы напряженного состояния на пластичность при холодном деформировании с малыми скоростями можно аппроксимировать единой для всех исследованных металлов эмпирической формулой:

^x Здесь не имеется в виду разрушение, вызванное несовершенством конструкции пуансона или технологии выдавливания (наличие на пуансоне острых кромок, плохие контактные условия и др.).

$$\varepsilon_i^* = 2 \cdot \varepsilon_{ip} \cdot e^{-0,72\Pi}, \quad (I)$$

где ε_i^* — значение интенсивности итоговой деформации в момент разрушения при любом значении Π ;

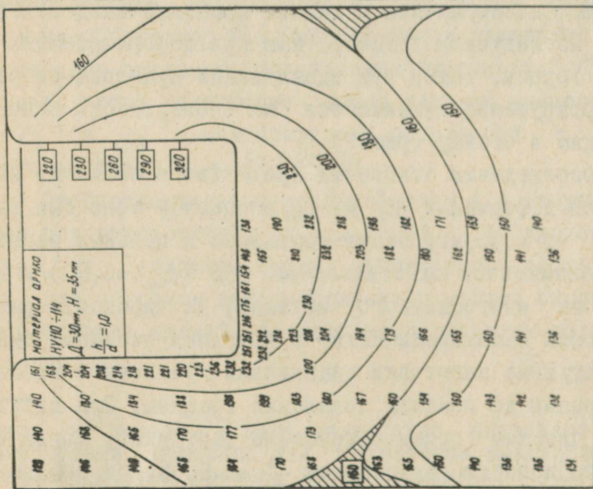
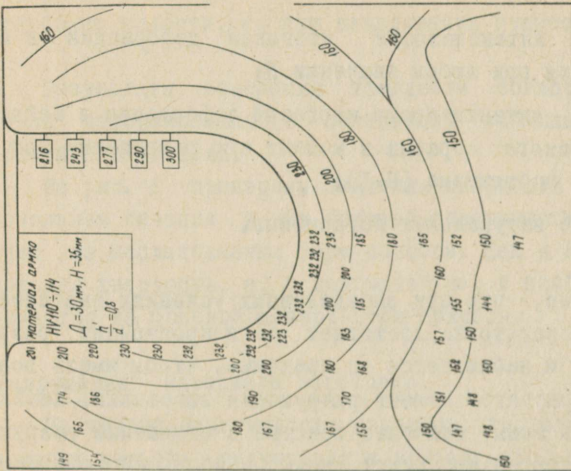
ε_{ip} — значение интенсивности итоговой деформации в шейке цилиндрического образца в момент его разрушения при испытании на растяжение ($\Pi=1$);

e — основание натуральных логарифмов.

Не исключено, что при определенных условиях значение ε_i в некоторых зонах заготовки достигнет ε_i^* и произойдет разрушение, что иногда и наблюдается на практике. Чтобы иметь возможность определять расчетом момент разрушения заготовки, необходимо: уметь находить зоны, наиболее опасные в отношении разрушения (такowymi не обязательно будут зоны наибольшей деформации); знать значение предельной деформации ε_i^* для этих зон; уметь вычислять значение итоговой деформации в опасных зонах.

Результаты эксперимента и данные практики свидетельствуют о том, что в исследуемом процессе как при деформировании пуансоном с плоским торцем, так и при вдавливании пуансона со сферическим торцем разрушение начинается на поверхности полости в месте перехода дна в стенку (рис.7).

С целью определения отношения предельного значения интенсивности итоговой деформации ε_i^* и ε_{ip} в опасной зоне был выполнен эксперимент по деформированию составных и цельных заготовок из материала с заниженной пластичностью Л62 ($\varepsilon_{ip} = 0,60$) и цельных заготовок из многослойного металла. На плоскость разреза составных заготовок накатывали сетку с круглыми ячейками диаметром 0,5 мм. В латунные заготовки вдавливали пуансоны с плоским и сферическим торцами до момента появления трещины. При вдавливании пуансона с плоским торцем разрушение наступило, когда относительная глубина полости составляла $\frac{h}{d} = 0,6$, а при деформировании пуансоном со сферическим торцем, — когда отношение $\frac{h}{d}$ было равным 0,8 (как при деформировании цельных, так и составных заготовок). Поверхность разрушения имеет форму конуса с вершиной,



б

а

Рис. 6. Распределение твердости HV по меридиональному сечению и на доковой поверхности полости при деформировании пуансонами с плоским (а) и сферическим (б) торцами.

направленной в сторону опорного торца заготовки (рис.7). С помощью сетки вычислено значение ε_i вблизи места разрушения, в зоне разрушения величину деформации вычислить не удалось, так как размер ячейки оказался слишком большим ввиду резкой неравномерности деформации около поверхности полости. Поэтому значение ε_i в месте начала разрушения (на поверхности полости) определено по данным, полученным на заготовках из многослойного металла,



Рис. 7. Фотоснимки меридионального сечения заготовок, деформированных до разрушения (материал - ЛБ2).

деформированных до стадий, при которых произошло разрушение латунных заготовок. Толщина слоев до деформации составляла 0,22 мм, что дало возможность вычислить параметры деформированного состояния в весьма малых объемах. Сопоставление деформированного состояния в характерных зонах заготовок из многослойного металла и из латуни показало, что значение ε_i в соответственных точках для обоих материалов одинаково. Это дает основание считать, что значение ε_i в месте начала разрушения латунной заготовки будет примерно таким же, какое имеет поверхностный слой многослойной заготовки в той же зоне. Согласно расчету интенсивность итоговой

деформации в зоне начала разрушения равна $\varepsilon_i^* \approx 3,4$, т.е. отношение $\frac{\varepsilon_i^*}{\varepsilon_{ip}} \approx 5,6$. Вследствие того, что в исследуемом процессе величина предельной пластичности определяется только показателем "жесткости" Π , который не зависит от материала, отношение $\frac{\varepsilon_i^*}{\varepsilon_{ip}}$ для всех других материалов будет иметь такое же значение, какое получено для латуни. Полагая в первом приближении эмпирическую зависимость ε_i от Π , выраженную формулой (I), справедливой и для исследуемого процесса, можно по значению отношения $\frac{\varepsilon_i^*}{\varepsilon_{ip}}$ вычислить величину Π в зоне разрушения. При $\frac{\varepsilon_i^*}{\varepsilon_{ip}} = 5,6$ $\Pi = -1,4$.

О с н о в н ы е в ы в о д ы:

1. Деформация по объему заготовки распределяется резко неравномерно. Установлены основные закономерности распределения деформации при формообразовании закрытым выдавливанием цилиндрических полостей пуансонами с плоским и сферическим торцами, а также с торцем промежуточных форм.

2. При закрытом выдавливании возможно разрушение заготовки, оно начинается на поверхности полости в зоне перехода стенки в дно. Предложена методика расчета приближенного значения глубины полости, при которой начинается разрушение заготовки.

Л и т е р а т у р а

1. Коган А.И. Холодное выдавливание сложного штампового инструмента. Технический листок, 1965, № 40.

2. Смирнов-Аляев Г.А., Розенберг В.М. Теория пластических деформаций металлов. Машгиз, 1956.

3. Смирнов-Аляев Г.А. Аналитическая обработка экспериментальных данных изучения конечной пластической деформации. "Машиностроение", Труды Ленинградского военно-механического института. Машгиз, 1955, № 3.

4. Лабутин А.А. Исследование механических факторов разрушения металлов, обрабатываемых давлением. Кандидатская диссертация, Ленинградский механический институт, 1966.

О РАСЧЕТЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЗАКРЫТОМ ХОЛОДНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ МАТРИЦ ПРЕСС-ФОРМ

к.т.н. Д.П.Кузнецов, инж. А.В.Лясников
(Ленинград)

На практике при назначении размеров заготовки обычно исходят только из одного условия: готовая матрица должна вписываться в полуфабрикат, получаемый на операции выдавливания.

При этом специфика процесса выдавливания, как правило, не учитывается. Результаты исследований и производственный опыт свидетельствуют о том, что размеры заготовки и изготавливаемой полости существенно влияют на параметры процесса выдавливания, и, в частности, на величину усилия деформирования.

Если принять во внимание, что процесс холодного выдавливания характеризуется весьма большими удельными нагрузками на инструмент, то становится очевидной необходимость учета влияния размеров заготовки на усилие деформирования при разработке технологического процесса выдавливания.

В настоящей статье изложены рекомендации по расчету размеров заготовок, основанные на экспериментальном исследовании их деформированного состояния при закрытом холодном выдавливании и силового режима деформирования. Исследование выполнено для случая формообразования цилиндрической полости в цилиндрической заготовке. Материалом заготовок служила сталь марок А, 10, 15, 20; диаметр пуансона d , которым осуществляли формообразование полости, составлял 5, 10, 13,5 мм; диаметр заготовок D - 20, 25, 30, 35, 40, 50 (следовательно), отношение $\frac{D}{d}$ было равным 1,5 - 6,0; высота заготовок H имела значения 25, 30, 35, 40 мм.

Заготовки изготавливали цельными и составными с разъемом по меридиональному сечению. На плоскости разъема составных заготовок наносили (царапанием или накатыванием типографской краски) сетку с квадратными и круглыми ячейками.

Номинальный размер ячеек составлял 2 мм. Деформирование осуществляли на испытательной машине ГМС-50 со скоростью $0,08 \pm 0,1$ мм/сек, при этом записывали диаграмму "усилие - путь

пуансона" с помощью записывающего устройства силоизмерительного механизма машины.

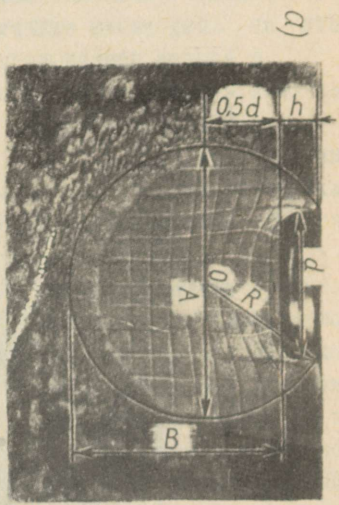
Наблюдениями за искажающимися в процессе деформирования ячейками сетки установлен характер распространения пластической деформации по объему заготовки.

В начальный момент внедрения пуансона в заготовку заметную пластическую деформацию получает кольцевой участок заготовки, примыкающий к радиусу перехода от торца к стенке пуансона. При дальнейшем деформировании образовавшийся очаг пластической деформации распространяется в поперечном направлении и в глубь заготовки (рис. 1). Непосредственно под торцем пуансона образуется зона, характеризующаяся незначительной деформацией (заторможенная зона).

При внедрении пуансона на небольшую глубину ($\frac{h}{d} \approx 0,2$) очаг пластической деформации принимает форму тела вращения, ограниченного поверхностями, выпуклыми в сторону нижнего торца заготовки (рис. 1, I стадия).

При дальнейшем деформировании (если заготовка имеет достаточные диаметр и высоту) очаг пластической деформации сохраняет свою форму, но увеличивается в размерах как в осевом, так и в поперечном направлениях. Когда глубина полости становится примерно равной диаметру ($\frac{h}{d} \approx 1$), увеличение очага пластической деформации прекращается. Последующее деформирование происходит при неизменном по форме и размерам очаге деформации до тех пор, пока нижняя его граница не достигнет опорного торца заготовки, после чего очаг деформации начинает уменьшаться в осевом направлении.

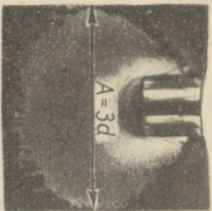
Анализ экспериментальных данных приводит к выводу, что внешняя граница очага пластической деформации (в стадии его формирования вплоть до достижения предельных размеров) может быть с достаточным приближением представлена в виде поверхности сферы (рис. 1а, I стадия; рис. 2). Центр сферы находится на оси симметрии в зоне наибольшей деформации на расстоянии от дна полости, примерно равном $0,5d$. Радиус сферы R при наибольших размерах очага деформации ($\frac{h}{d} \geq 1$) составляет примерно $1,9d$.



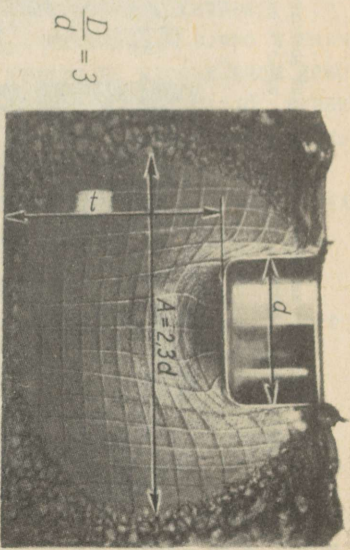
I ступня, $\frac{h}{d} = 0.2$

$$\frac{D}{d} = 3$$

$$\frac{h}{d} = 1.0$$



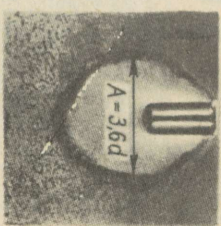
δ)



II ступня, $\frac{h}{d} = 0.6$

$$\frac{D}{d} = 6$$

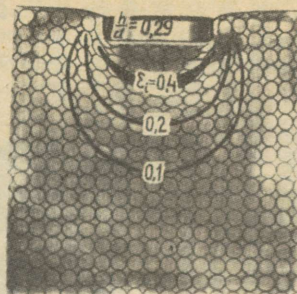
$$\frac{h}{d} = 2.1$$



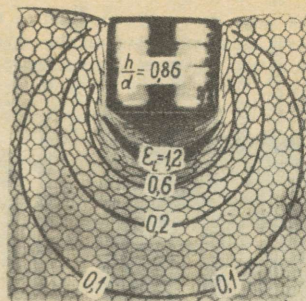
б)

Рис. 1. Развитие и размеры очага пластической деформации: а - сталь 0_г, б, в - сталь А. (За пределами очага пластической деформации видны остатки смеси каменноугольного масла с воском, которой была покрыта вся плоскость разреза до деформации. Из зоны очага деформации покрытие вытеснено в процессе деформации).

а)

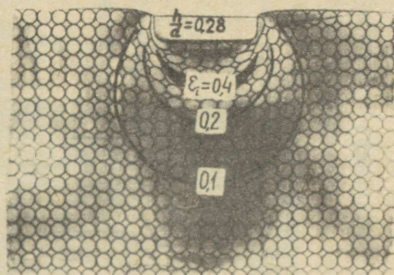


I стадия

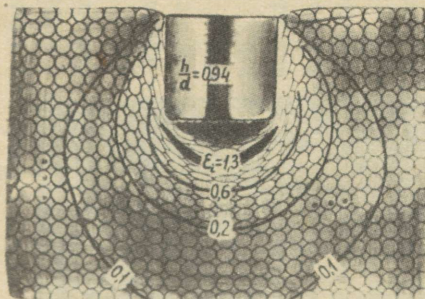


II стадия

б)



I стадия



II стадия

Рис. 2. Деформированное состояние в очаге пластической деформации (линиями соединены ячейки с примерно одинаковой величиной интенсивности деформации ϵ_i):

$$a - \frac{b}{a} = 2,2;$$

$$\delta - \frac{b}{a} = 3,7.$$

В стадии формирования очага деформации ($\frac{h}{d} < 1$) значение R может быть вычислено по формуле (1), вытекающей из геометрических соотношений и представленной на рис. 1 (I стадия) схемы:

$$R = \sqrt{\left(h + \frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} = d \sqrt{\left(\frac{h}{d} + 0,5\right)^2 + 0,25} \quad (1)$$

Наибольший поперечный размер очага деформации A равен $2R$

т.е.:

$$\frac{A}{d} = 2 \sqrt{\left(\frac{h}{d} + 0,5\right)^2 + 0,25} \quad (2)$$

Очевидно, если $D \geq A$, то изменение диаметра заготовки не будет влиять на усилие деформирования.

При $D < A$ с уменьшением D усилие должно увеличиваться и тем в большей степени, чем меньше толщина стенки ($\frac{D-d}{2}$). Причинами роста усилия являются возрастающие потери на трение боковой поверхности заготовки и увеличение гидростатического давления в очаге деформации.

Специально поставленный эксперимент подтвердил положение о характере влияния диаметра заготовки на усилие деформирования. На рис. 3 в качестве примера изображены экспериментальные графики для стали марки А, отражающие влияние диаметра заготовки на удельное давление деформирования p_r при различных значениях глубины полости. Такие же графики получены и при деформировании заготовок из других исследованных марок стали. Графики показывают, что интенсивный рост удельного давления при уменьшении D начинается при $\frac{D}{d} \approx 3$, если $\frac{h}{d} \geq 1$, и при $\frac{D}{d} \approx 2,5$, если $\frac{h}{d} < 1$. Из изложенного следует, что для обеспечения минимального значения усилия деформирования необходимо, чтобы диаметр заготовки был не менее поперечного размера очага деформации ($D > A$).

С другой стороны, с целью экономии металла нужно стремиться к назначению минимально необходимых размеров заготовки.

С учетом приведенных данных для расчета оптимальных (исходя из требований выдавливания) значений диаметра заготовки можно принять следующие зависимости:

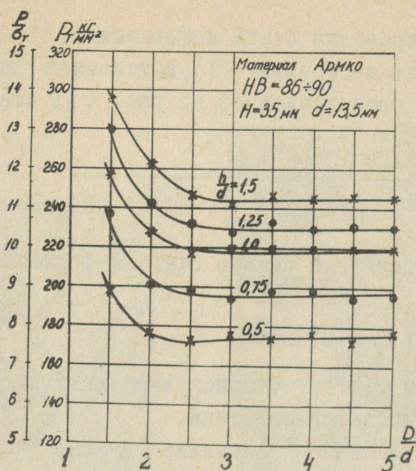


Рис. 3. Графики, характеризующие влияние поперечного размера заготовки на величину удельного давления в конечный момент деформирования.

$$\text{при } \frac{h}{d} > 1 \quad D = 3d, \quad (3)$$

$$\text{при } \frac{h}{d} < 1 \quad D = 2d \quad \left(\frac{h}{d} + 0,5 \right) \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) дают значения D несколько меньше поперечного размера A очага пластической деформации.

Полученные результаты согласовываются с практическими рекомендациями по назначению поперечных размеров заготовок, содержащимися в некоторых источниках.

Размер B очага деформации в осевом направлении (рис. I) определяется выражением (5):

$$B = R + \frac{d}{2}. \quad (5)$$

Экспериментальными наблюдениями установлено, что толщина дна t заготовки (рис. I) не влияет на усилие деформирования до момента достижения внешней границы очага деформации опорного торца заготовки. Дальнейшее деформирование сопровождается влиянием t на усилие, однако, в начале оно несущественно. Когда

участок максимальной пластической деформации (в зоне оси симметрии) оказывается на уровне опорного торца заготовки, влияние t резко возрастает, усилие при этом интенсивно увеличивается, что объясняется главным образом ролью контактного трения. Поскольку увеличение усилия при выдавливании является всегда нежелательным, необходимо высоту заготовки назначать такую, чтобы к моменту окончания деформирования толщина дна была не менее того значения, при котором начинается интенсивный рост усилия. Согласно экспериментальным данным, в случае применения пуансонов с плоским торцем быстрый рост усилия начинается при $t = (0,4-0,5)d$ (Если пуансон имеет сферический торец, то начало интенсивного увеличения усилия соответствует $t \approx 0,2$).

Приведенные зависимости для определения размеров заготовки могут быть также распространены на случаи изготовления полостей, имеющих в плане форму правильного (или близкого к нему) многоугольника с любым числом сторон. При этом за поперечный размер полости необходимо принимать ее условный диаметр, представляющий собой диаметр круга, равновеликого по площади поперечному сечению полости.

В ы в о д ы

1. Выявлено влияние размеров заготовки на усилие деформирования при закрытом холодном выдавливании матриц пресс-форм.

2. Даны практические рекомендации по расчету оптимальных (исходя из требований выдавливания) размеров заготовки.

TRU Ruumatukogu

О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ЗАМЕДЛЕННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

инж. А.Э. Кнедис, к.т.н. А.И. Хыбеяги (Рига, Таллин)

Характерной чертой технологии обработки сложных полостей выдавливанием является применение для процессов различного назначения скоростей пластического деформирования в весьма широком диапазоне. В зависимости от применяемого прессового оборудования скорость перемещения мастер-пуансона в процессе выдавливания колеблется от 0,005 мм/сек при замедленном выдавливании на специальных прессах до 25000 мм/сек при взрывном выдавливании на пороховых копрах. Применяемые в производстве типы оборудования и скоростные режимы процессов обработки выдавливанием приведены в таблице, где указаны также температуры пластической обработки и материалы заготовок матриц и штампов.

Приведенные данные показывают, что в настоящее время горячее выдавливание сложных полостей осуществляется на прессах весьма различных типов, при этом заготовки штампов нагреваются до ковочных температур. Из-за окалины, температурной усадки и динамического воздействия мастер-пуансона качество поверхности и точность полостей невысокие. Однако известно, что выдавливание сложных полостей в штамповые стали на специальных гидравлических прессах с замедленной рабочей скоростью (до 0,02 мм/сек) обеспечивает получение точных полостей с высоким качеством поверхности. Поэтому наряду с разработкой оптимальных режимов горячего и полугорячего выдавливания необходимо уделять особое внимание уточнению технологических режимов замедленного выдавливания.

Величину рабочих скоростей прессов ПО-440 с усилием 1000 тс можно отрегулировать в пределах 0-0,28 мм/сек, прессов ПО-440 с усилием 2000 тс - в пределах 0-0,14 мм/сек, поэтому осуществление процесса выдавливания со скоростью ниже 0,02 мм/сек на этих прессах не представляет затруднений. Однако в инструментальных цехах широко применяются еще специальные гидравлические прессы ПО-53 (1000 тс) и ПО-54 (2000 тс) с нерегулируемой рабочей скоростью ползуна соответственно 0,07 мм/сек и 0,06 мм/сек. Для замедленного выдавливания необходимо усовершен-

ствовать управление гидросистемы этих прессов. По предложению А.Э.Киепца замедление рабочей скорости пресса производится при помощи двух реле времени, включенных дополнительно в электросхему пресса. Усовершенствованная электросхема управления гидросистемой пресса ПО-54 показана на рис. 1.

Рабочий стол I пресса прикреплен к верхней части плунжера 2, находящегося в цилиндре 3, который соединен с трансформатором давления 5, управляемым золотником I5. Золотник через насос I8 подключен к резервуару I9. Золотник снабжен двумя электромагнитами I6 и I7, подключенными к контактам I3 и I4 двух реле времени 9 и I0. Поршень 6 трансформатора давления снабжен стержнем I2, от упора которого срабатывает конечный переключатель II.

Пресс работает на замедленном режиме следующим образом. Масло из резервуара подается насосом через реверсивный золотник в трансформатор давления. Золотник занимает свои крайние положения в результате срабатывания соответствующих электромагнитов, которые приводятся в действие при замыкании контактов обоих реле времени. Реле времени работают поочередно, в зависимости от положения конечного переключателя, положение которого изменяет стержень.

В момент переключения включается реле времени 9 и после выдержки установленного времени замыкает контакт I3, который включает электромагнит I6, перемещающий золотник в крайнее правое положение. Теперь масло поступает в камеру 7 с левой стороны поршня 6 и передвигает его вправо до срабатывания переключателя II. При этом масло из камеры 8 вытесняется в цилиндр, поднимая плунжер пресса.

Благодаря малым скоростям движения стола и большим нагрузкам пресса, рабочий стол перемещается при этом плавно. Скорость движения стола зависит от установленного времени выдержки обоих реле времени, причем, чем больше длительность выдержки, тем меньше средняя скорость движения стола. В данной схеме применяются парные тиратронные реле времени, дающие выдержки времени от 0 до 4 сек. Это дает возможность отрегулировать среднюю скорость рабочего хода пресса в пределах 0,01-0,07 мм/сек, т.е. по сравнению с первоначальной скоростью замедлить рабочую ско-

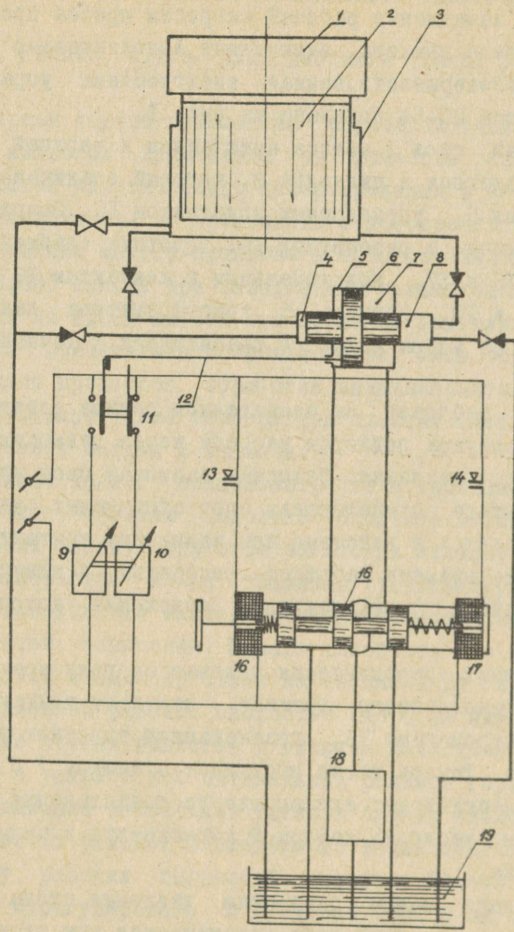


Рис. 1. Схема управления гидросистемы прессы ПО-54 после усовершенствования.

рость пресса до 7 раз. После перестройки электрогидросистемы по вышеприведенной схеме пресс работает стабильно на нормальных и замедленных режимах. Включением в схему реле времени с более длительной выдержкой среднюю скорость выдавливания можно еще снизить. Поскольку во время одного хода плунжера высокого давления гидротрансформатора рабочий стол пресса перемещается (мастер-пуансон вдавливается) только на $\gamma 0,1$ мм, то с учетом деформации при постоянной нагрузке, неравномерность скорости выдавливания небольшая.

Как известно, скорость выдавливания v рекомендуется выбирать при обработке сталей с повышенной пластичностью $v = 0,04 - 0,10$ мм/сек, при обработке легированных инструментальных сталей $v = 0,005 - 0,02$ мм/сек (так называемое замедленное выдавливание). Многие авторы указывают, что замедленное выдавливание предотвращает от образования трещин в полости и даже от образования трещин в полости после термической обработки. Кроме того, указывают на увеличение точности и четкости выдавливаемого рельефа полости при замедленном выдавливании. При этом заметного снижения усилия (удельного давления) выдавливания не происходит

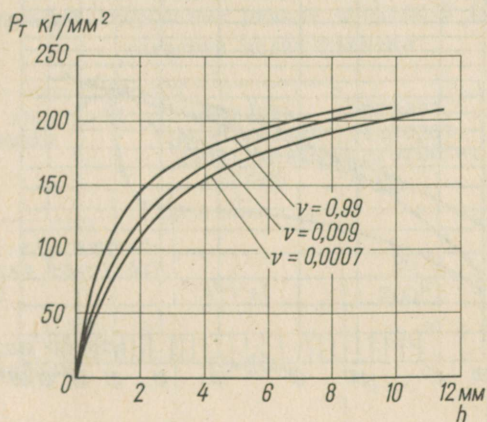


Рис. 2. Зависимость удельного давления от скорости выдавливания v (мм/сек).

[1] (рис. 2). Как следует из рис. 2, снижение удельного усилия при снижении скорости выдавливания от 0,99 мм/сек до 0,009 мм/сек составляет не более 5%.

Замедленное выдавливание может быть проведено при холодном состоянии заготовок, а также при низком нагреве их на 200°C. При нагреве на 200°C окалина еще не образуется, удельное усилие выдавливания снижается мало, а максимальная относительная глубина полости при этом увеличивается значительно. Из-за небольшой температуры нагрева прочность закаленного пуансона существенно не снижается даже при длительном (до одного часа) контакте пуансона и нагретой матрицы. Однако необходимо обеспечить определенную точность термического режима, так как в интервале температур 200-300°C возникает явление синеломкости.

В ПТНИИ были проведены экспериментальные работы по выдавливанию полостей в нагретые на 200°C заготовки из сталей У10А, 4ХС и 3Х2В8 при скорости выдавливания 0,06 мм/сек. Нагреваемый пакет-штамп (мощность нагреваемого элемента 800 Вт) дал возможность придерживать заготовку длительное время при заданной температуре.

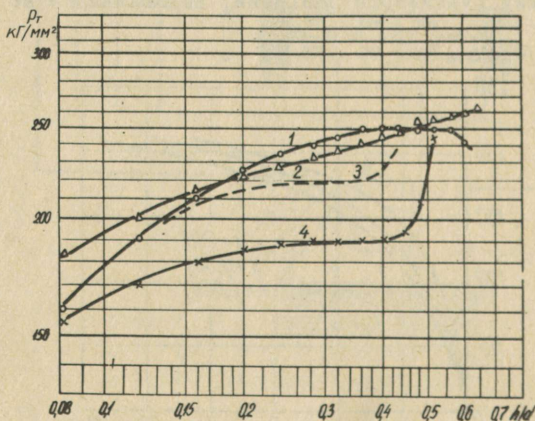


Рис. 3. Зависимость p_r от h/d для выдавливания с применением нагретой на 200°C заготовки из стали 3Х2В8: 1 - закрытое выдавливание с приемником; 2 - полуоткрытое выдавливание; 3 - холодное закрытое выдавливание с нижней камерой; 4 - закрытое выдавливание с нижней камерой.

Зависимость $P_T - h/d$ для выдавливания в нагретую на 200°C заготовку из стали 3Х2В8 приведена на рис. 3. Полученные результаты показывают, что по сравнению с холодным выдавливанием снижение удельного усилия не превышает 15-18% при закрытом и 8-12% при полузакрытом выдавливании. При этом соответственное увеличение относительной глубины полости при одинаковых значениях удельного давления выдавливания составлял 200-300%. Однако имели место случаи появления горизонтальных трещин в выдавленных полостях (при радиусе закругления кромки торца пуансона 0,5 мм).

На наш взгляд, полученные результаты экспериментальных работ, несложность переналадки прессов ПО-54 на замедленный режим и богатый положительный опыт заводов ГДР по замедленному выдавливанию полостей в штамповые стали (в том числе в нагретые на 200°C заготовки) позволяют рекомендовать технологические режимы замедленного выдавливания в холодные и нагретые заготовки к опытному внедрению на наших предприятиях с учетом, что вышеприведенные технологические режимы этого процесса нужно рассматривать как предварительные.

Применяемые скоростные режимы процессов обработки полостей выдавливанием

Применяемое прессовое оборудование	Скорость перемещения инструмента, мм/сек	Приблиз. температур. заготовки, $^{\circ}\text{C}$	Группа материала заготовок матриц и штампов
Специальные гидравлические прессы для холодного выдавливания	0-0,1	20° 200°	Углеродист. стали Легиров. стали
Гидравлические прессы общего назначения	10-100	20° 1100°	Углеродист. стали Легиров. стали
Механические (фрикционн.) прессы холодной и горячей штамповки	200-500	1100°	Легиров. стали
Паровоздушные молоты	4000-8000	1200°	Легиров. стали
Пороховые копры	10000-30000	1400°	Легиров. стали

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Folke, G. Stahltechnologische Fragen beim Kalteinsenken von Presswerkzeugen für Kunststoffe. "Kunststoffe", Bd.44, Nr.9, 1954.
2. Möckel, L. Wirtschaftliche Gesenkerherstellung durch Kalteinsenken. "Fertigungstechnik und Betrieb", 1962, Nr.12.

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ПОЛОСТИ ПРИ ХОЛОДНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ И ШТАМПОВ

к.т.н. Д.П.Кузнецов, инж. А.В.Лясников (Ленинград)

Известно, что применение закрытого выдавливания ограничивается величиной допустимой нагрузки на пуансон, которая для современных марок инструментальной стали составляет не более 300 кг/мм^2 .

Для расширения области применения этого процесса разработаны различные способы снижения удельного давления деформирования. К их числу относятся: полузакрытое выдавливание [1] и выдавливание с облегчающими камерами. При этом снижение усилия деформирования достигается за счет увеличения свободных от контакта с инструментом поверхностей заготовки (и уменьшением таким образом величины гидростатического давления) или за счет уменьшения величины деформации и составляет от 20 до 70% [1,2].

Однако применение камер часто снижает пластичность деформируемого материала, вследствие чего возможно образование трещин в заготовке. Частично этот недостаток можно устранить путем применения пластического прижима (при использовании сквозной камеры) или заполнения полости камеры (при применении нижней камеры) консистентной смазкой [1]. Но такое решение возможно не всегда. Если глубина изготавливаемой полости велика, то разрушение заготовки возможно и при закрытом выдавливании без применения облегчающих камер.

Таким образом, применение холодного выдавливания ограничено как прочностью пуансона, так и прочностью заготовки.

В настоящей статье изложены результаты решения вопроса об определении предельной глубины полости из условия прочности пуансона и заготовки, основанного на экспериментальном исследовании напряженно-деформированного состояния заготовок и силового режима деформирования.

Исследование выполнено для случая формообразования цилиндрической полости в цилиндрических заготовках. Материалом заготовка служила сталь марок А, 10, 15, 12ХНЗА, Х5М, 30ХГСА, 3Х2В8,

7ХЗ, УЮА и латунь Л62. Диаметр пуансона d , которым осуществляли формообразование полости, составлял 13,5 мм, радиус перехода торцевой части в боковую - 1 мм. Диаметр заготовок D был равен 30 и 40 мм ($\frac{D}{d} = 2,2$ и $3,0$), высота $H = 35$ мм. Деформировали по способам закрытого и открытого выдавливания на испытательной машине ГМС-50.

Предельная глубина полости из условия прочности материала заготовки.

На рис. 1 показаны фотоснимки меридиональных сечений заготовок с зонами разрушения. Результаты эксперимента и данные практики свидетельствуют о том, что при закрытом выдавливании без камер разрушение начинается на поверхности полости в месте перехода дна в стенку (рис. 1а). При выдавливании заготовок с цилиндрической нижней камерой, когда отношение диаметра камеры d_k к диаметру пуансона d равно 0,8-1,0 разрушение начинается на поверхности камеры и распространяется по зоне интенсивной деформации (рис. 1б).

Если $\frac{d_k}{d} > 1,2$, то разрушение сначала происходит на наружной поверхности в центральной части дна камеры (рис. 1д). В этом случае в зоне разрушения деформация не является максимальной, зато схема напряженного состояния наиболее жесткая, показатель жесткости схемы $\Pi = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i} X$, равен 2 (схема двустороннего равномерного растяжения, $\sigma_1 = \sigma_2 > 0$, $\sigma_3 = 0$). При открытом выдавливании, когда $\frac{D}{d} = 3,0$, и закрытом выдавливании с боковой камерой разрушение происходит на боковой поверхности полости, трещина направлена вдоль образующей (рис. 1в и г). Такой характер разрушения, а также наличие "бочки" у полости, указывает на то, что на боковой поверхности полости в ранее сформированной части заготовки на некоторой стадии деформирования тангенциальные напряжения становятся растягивающими. Растягивающие тангенциальные напряжения обусловлены "распирающим" действием нижележащих участков заготовки. Для определения предельного значения интенсивности итоговой деформации ε_i^* при закрытом выдавливании заготовок без камеры и закрытом выдавливании заготовок с нижней цилиндрической облегчающей камерой ($\frac{d_k}{d} = 1,0$) был

$\sigma_{1,2,3}$ - главные компоненты напряжения

σ_i - интенсивность напряженного состояния.

выполнен эксперимент по деформированию составных заготовок до разрушения. В первом случае применен относительно малопластичный материал - латунь Л62 ($\varepsilon_{ip} = 0,60$, ε_{ip} - значение интенсивности итоговой деформации в шейке образца в момент разрушения при испытании на растяжение), во втором - высокопластичная сталь марки А ($\varepsilon_{ip} = 1,56$).

Методика эксперимента подробно изложена в статье авторов и А.И.Хыбеяги "Деформированное состояние и разрушение материала заготовки при закрытом холодном выдавливании", помещенной в настоящем сборнике.

Получены следующие значения ε_i^* : для закрытого выдавливания без камеры $\varepsilon_i^* \approx 5,6 \varepsilon_{ip}$, для закрытого выдавливания с нижней камерой $\varepsilon_i^* \approx \varepsilon_{ip}$.

Воспользовавшись предложенной А.А.Лабутиным [3] эмпирической формулой (I):

$$\varepsilon_i^* = 2 \varepsilon_{ip} e^{-0,72 \Pi}, \quad (I)$$

где e - основание натуральных логарифмов, находим следующие значения Π в зонах разрушения: при $\varepsilon_i^* = 5,6 \varepsilon_{ip}$ $\Pi \approx 1,4$ при $\varepsilon_i^* = \varepsilon_{ip}$ $\Pi = +1,0$. На основе анализа деформированного состояния заготовок установлено, что величина ε_i в зоне разрушения зависит от относительной глубины полости, и эта связь может быть представлена равенствами (2) и (3):

при закрытом
выдавливании
без камер

$$\varepsilon_i \approx 6 \ln \left(1 + \frac{4}{\pi} \frac{h}{d} \right), \quad (2)$$

при закрытом
выдавливании
с нижней об-
легчающей ка-
мерой $d_K = d$

$$\varepsilon_i \approx 3 \ln \left(1 + \frac{h}{H - h_K} \right), \quad (3)$$

где h_K - высота (глубина) камеры до деформации.

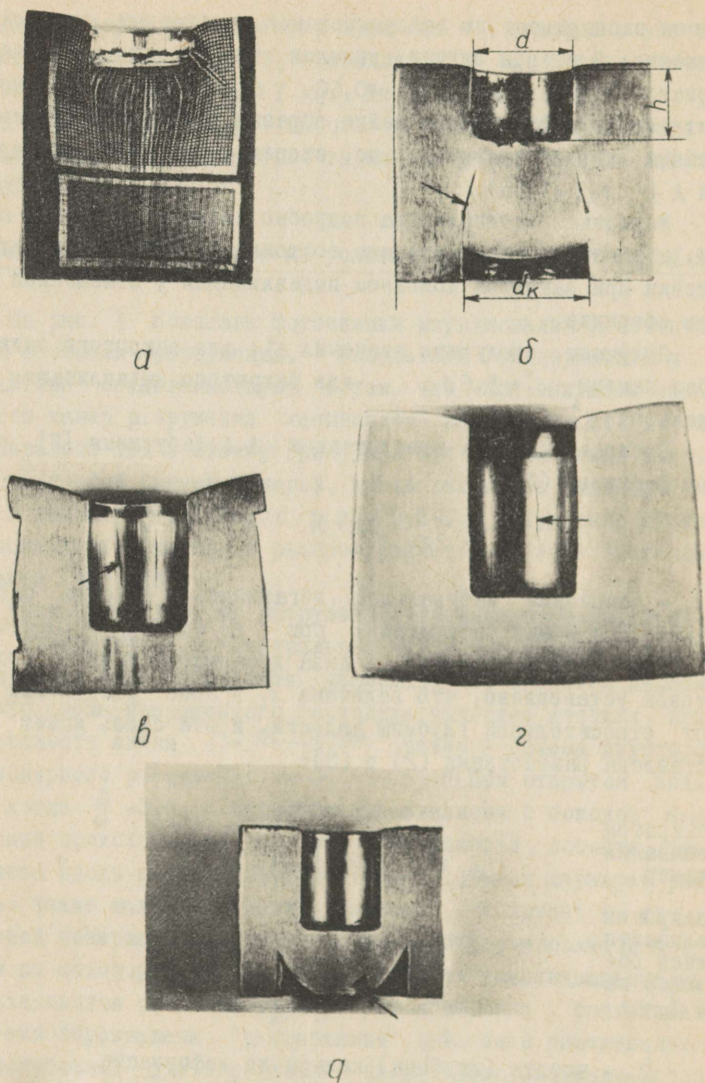


Рис. 1. Фотоснимки заготовок, деформированных до разрушения: а - закрытое выдавливание (заготовка составная, на меридиональном сечении до деформации нанесена сетка, материал - Л62); б - закрытое выдавливание (заготовка с нижней облегчающей камерой, $\frac{d_k}{d}=0,8$ сталь 10); в - закрытое выдавливание (заготовка с боковой камерой, сталь А; г - открытое выдавливание ($\frac{D}{d}=3,0$, сталь 10); д - закрытое выдавливание (заготовка с нижней камерой, $\frac{d_k}{d}=1,5$, сталь ЗОХГСА). Стрелками указаны зоны разрушения.

Решая совместно уравнения (2) с (1) и (3) с (1) и принимая значение Π в первом случае равным $-1,4$ и во втором $+1$, получаем следующие формулы для расчета предельной глубины полости $\left(\frac{h}{d}\right)_{np}$, при которой должно начаться разрушение:

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{np} = \frac{\pi}{4} \left(e^{0,9 \varepsilon_{ip}} - 1 \right), \quad (4)$$

$$\left(\frac{h}{H-h_k}\right)_{np} = e^{0,33 \varepsilon_{ip}} - 1. \quad (5)$$

Для случая открытого выдавливания при $\frac{D}{d} = 3$ и закрытого выдавливания с боковой облегчающей камерой аналогичным путем получена следующая формула:

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{np} = \frac{\pi}{4} \left(e^{0,6 \varepsilon_{ip}} - 1 \right). \quad (6)$$

На рис. 2 показаны графики предельных значений глубины полости, построенные по результатам расчета по формулам (4), (5) и (6).

Экспериментальная проверка описанной методики расчета предельной глубины полости показала удовлетворительную сходимость расчетных значений с опытными (табл. I).

Формулы (4), (5), (6) справедливы лишь при определенных геометрических соотношениях размеров заготовки и изготавливаемой полости. Формула (4) пригодна для заготовок с отношением $\frac{D}{d} \geq 2$. При уменьшении этого отношения (в диапазоне $1 < \frac{D}{d} < 2$), как показали исследования напряженного состояния, показатель Π в месте возможного разрушения быстро уменьшается, при этом пластичность материала заготовки значительно повышается.

Формула (5) справедлива при $\frac{d_k}{d} = 1$, изменение отношения $\frac{d_k}{d}$ приводит к изменению величины $\left(\frac{h}{d}\right)_{np}$, о чем свидетельствует экспериментальный график, показанный на рис. 3. Принимая зависимость $\left(\frac{h}{d}\right)_{np}$ от $\frac{d_k}{d}$ в диапазоне $0 \leq \frac{d_k}{d} < 1$ линейной, получаем:

Таблица I

Экспериментальные и расчетные значения предельной глубины полости из условия прочности материала заготовки

Выдавливание	Закрытое без камер		Закрытое с нижней облегчающей камерой ($d_k = d$)					Открытое ($\frac{d}{d_k} = 3,0$ $\frac{d}{d_k} = 2,2$)				
	Л62, $\varepsilon_{ip} = 0,60$	А, $\varepsilon_{ip} = 1,56$	Сталь 10, $\varepsilon_{ip} = 1,39$	Сталь 15, $\varepsilon_{ip} = 1,15$	А, $\varepsilon_{ip} = 1,56$	Х5М, $\varepsilon_{ip} = 1,66$	УЮА, $\varepsilon_{ip} = 0,80$	УЮА, ВОХУА, $\varepsilon_{ip} = 0,87$	Л62, $\varepsilon_{ip} = 0,60$	Сталь 10, $\varepsilon_{ip} = 1,39$	А, $\varepsilon_{ip} = 1,56$	УЮА, $\varepsilon_{ip} = 0,80$
Магериал заготовки	0,56	2,44	0,60	0,45	0,64	0,74	0,31	0,34	0,34	1,01	1,24	0,48
Расчет	0,50+	2,40+	0,50+	0,40+	0,62+	0,65+	0,35+	0,39+	0,36+	1,0+	1,10+	0,50+
Опыт	0,60	2,60	0,60	0,50	0,70	0,70	0,38	0,45	0,44	1,10	1,30	0,60
Средняя величина отклонения расчетного значения от опытного, в %	+1,6	-2,4	+9,1	0	-3,0	+10,4	-10,8	-19,0	-15,0	-4,8	+3,3	-12,7

Примечание. Опытные значения предельной глубины получены при деформировании сплошных заготовок.

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{np} = \frac{\pi}{4} \left(e^{0,9 \varepsilon_{ip}} - 1 \right) \left(1 - \frac{d_k}{d} \right) + \frac{d_k}{d} \left(e^{0,33 \varepsilon_{ip}} - 1 \right) \dots \quad (7)$$

Таким образом, формула (7) объясняет формулы (4) и (5) и охватывает область значений $\frac{d_k}{d}$ от 0 до 1.

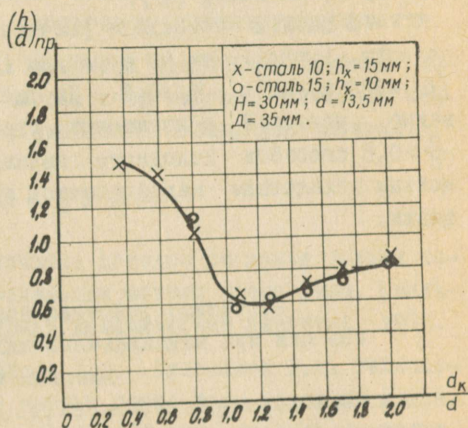
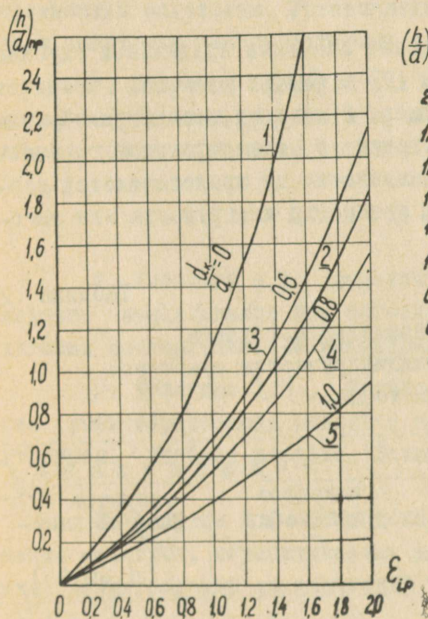


Рис. 2. Графики предельных значений глубины полости: 1 - закрытое выдавливание, 2 - открытое выдавливание, (при $\frac{D}{d} = 3,0$), 3, 4, 5 - закрытое выдавливание при наличии нижней облегчающей камеры диаметром d_k .

Рис. 3. Влияние отношения $\frac{d_k}{d}$ на величину предельной глубины полости при закрытом выдавливании с применением нижней облегчающей камеры.

предельная глубина полости из условия прочности пуансона.

Из условия прочности пуансона предельную глубину полости можно вычислить по эмпирической формуле М.И. Прудникова для расчета усилия деформирования [2], которая после преобразования принимает следующий вид:

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{np}^3 = \frac{0,073}{K_0^3} \left(\frac{[p]}{[HB]} \right)^3, \quad (8)$$

где $[HB]$ - твердость материала заготовки по Бринеллю, $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$;

$[p]$ - величина допустимой нагрузки на инструмент, $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$;

K_0 - коэффициент, учитывающий влияние на усилие облегчающих камер [2].

В табл. 2 приведены расчетные значения предельной глубины полости, вычисленные по формулам (7) и (8), в расчетах принято: $[p] = 300 \text{ кг/мм}^2$; $K_0 = 0,8$. Из табл. 2 следует, что формообразование полостей в штамповых сталях с относительной глубиной $\frac{h}{d} > 0,5$ способом холодного выдавливания не представляется возможным вследствие недостаточной прочности инструмента или заготовки.

Таблица 2

Расчетные значения предельной глубины полости при выдавливании цилиндрическим пуансоном с плоским торцем

Заготовка			Выдавливание			
марка стали	механические свойства		закрытое без камер		закрытое с нижней камерой ($d_k = 0,8d$)	
	HB, $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	ϵ_{ip}	$\left(\frac{h}{d}\right)_{np}$	$\left(\frac{h}{d}\right)'_{np}$	$\left(\frac{h}{d}\right)_{np}$	$\left(\frac{h}{d}\right)'_{np}$
A	90	1,56	2,4	2,7	1,0	5,4
I2XНЗА	154	1,27	1,6	0,5	0,8	1,1
У10А	170	0,80	0,9	0,4	0,4	0,8
30ХГСА	200	0,87	1,0	0,2	0,5	0,5
7ХЗ	190	1,28	1,7	0,3	0,8	0,6
ЗХ2В8	194	0,86	1,0	0,4	0,5	0,9

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что при применении облегчающих камер необходимо вести расчет на прочность как пуансона, так и заготовки.

В ы в о д ы

1. При холодном выдавливании предельная глубина изготавливаемой полости определяется как прочностью инструмента, так и прочностью заготовки. Установлены опасные в отношении разрушения зоны заготовки для характерных способов и приемов выдавливания.

2. Получены формулы для расчетов предельной глубины полости из условий прочности пуансона и заготовки. Расчетные значения удовлетворительно согласовываются с экспериментальными.

Л и т е р а т у р а

1. Хыбеяги А.И. Исследование методов снижения усилия холодного выдавливания при изготовлении матриц пресс-форм. Кандидатская диссертация. Ленинградский механический институт, 1967.

2. Кузнецов Д.П., Лясников А.В., Кудрявцев В.А. Технология формообразования полостей матриц пресс-форм холодным выдавливанием. Учебное пособие. Ленинградский механический институт, 1966.

3. Лабутин А.А. Исследование механических факторов разрушения металлов, обрабатываемых давлением. Кандидатская диссертация. Ленинградский механический институт, 1966.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПОЛОСТЕЙ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ НА ЗАВОДЕ "ПИОНЕР"

Инж. В.Л.Мээнтало (Таллин)

Холодное выдавливание полостей матриц пресс-форм было внедрено на заводе "Пионер" в 1965 г. Главный эффект метода выдавливания по сравнению с механической и ручной обработкой полостей матриц и штампов заключается в экономии рабочей силы. Экономический эффект в 1966 и 1967 гг. составлял 35-40 тыс.руб. в год. Сейчас изготавливают ежегодно примерно 6000 полостей матриц различной сложностью методом холодного выдавливания, в результате чего высвободилось 25 высококвалифицированных слесарей-инструментальщиков, которых могли направить на другие работы по их специальности.

Практика показала, что при большом количестве выдавливаемых полостей матриц пресс-форм необходимо тщательно относиться к технологичности формы детали, изготавливаемой в пресс-форму. Уже при проектировании пресс-формы конструктор должен учитывать применимость метода выдавливания.

Материалы для матриц пресс-форм должны иметь достаточную пластичность с целью предотвращения разрушения заготовок и мастер-пуансонов во время выдавливания. Известно, что углеродистые стали имеют повышенную пластичность при структуре с зернистым (но не пластинчатым) перлитом. Для получения зернистого перлита температура отжига не должна превышать точку A_{c3} . Выдержка должна быть немного ниже точки A_{c1} ($723^{\circ}C$), практически в пределах $710^{\circ}C$ продолжительностью 6-8 часов в зависимости от марки стали. Для сталей с содержанием углерода более 0,2%, а также для легированных сталей большое значение имеет сфероидизирующий отжиг. До сфероидизации заготовки рекомендуется подвергать нормализации.

При отжиге нормализованные заготовки нагревают на 10-30 градусов выше линии A_{C_1} . После этого производится выдержка на линии A_{C_1} с периодическим изменением температуры ± 15 градусов. Охлаждение заготовок производится в печи со скоростью 25-30 град/час до температуры 600°C. Дальнейшее охлаждение производится на воздухе.

Режимы термообработки заготовок матриц приведены в таблице.

Изготовление мастер-пуансона является трудоемкой, сложной и ответственной работой. Рабочие условия мастер-пуансона очень тяжелые, так как пуансон часто работает в области критических нагрузок.

Поэтому необходимо, чтобы заготовка мастер-пуансона перед изготовлением была хорошо прокована по соответствующим инструкциям. Ковкой разрушается цементитная сетка углеродистых инструментальных сталей. Для легированных инструментальных сталей проковка еще более важна, так как ковкой снижается карбидная неоднородность металла от 5-6 до 3 баллов. Неоднородность выше 4-5 баллов вызывает значительное снижение механических свойств материалов. Ударная вязкость падает в 2-3 раза, а прочность при растяжении — на 35-50%. Прочность материалов со значительной карбидной неоднородностью поперечно направлению неоднородности в 2-3 раза ниже, чем в продольном направлении.

При выборе исходного материала для мастер-пуансонов необходимо предпочитать прутки меньшего диаметра. Карбидная неоднородность увеличивается с увеличением диаметра прутка и на внешних слоях всегда меньше, чем в середине.

Начальная температураковки для сталей X12M и X12Φ1 II60-II80°C. Температура окончанияковки должна быть не ниже 900-950°C.

Ковка производится нижеследующим образом:

1. Осадка до одной трети высоты заготовки.
2. Вытяжка до первоначальных размеров заготовки.
3. Осадка таким образом, чтобы высота равнялась диаметру.
4. Вытяжка до первоначальных размеров и обработка на цилиндр.

Операции 3 и 4 повторяют 2-4 раза для заготовок диаметром до 80 мм и 6-7 раз для заготовок диаметром более 80 мм; после этого заготовке дают окончательный размер.

Послековки заготовки отжигают следующим образом:

1. Нагрев в электропечи до 840°C и выдержка при этой же температуре 0,5-1,0 часа.

2. Охлаждение в печи до 720°C и выдержка при этой температуре 3 часа.

3. Охлаждение в печи со скоростью 25-30 град/час до температуры 600°C и после этого на воздухе.

После механической обработки мастер-пуансоны подлежат закалке. Если диаметр мастер-пуансона больше 40 мм, надо медленно (со скоростью не более 100 град/час) нагревать их до температуры $650-700^{\circ}\text{C}$. После этого температура быстро поднимается до температуры закалки. Мастер-пуансоны диаметром до 40 мм можно сразу быстро нагревать до температуры закалки.

Температура закалки для стали X12M $1000-1020^{\circ}\text{C}$, для стали X12Ф1 $1030-1040^{\circ}\text{C}$. Охлаждение производится в масле с температурой $60-70^{\circ}\text{C}$.

При термической обработке мастер-пуансонов следует учитывать их нагрузку при выдавливании.

Если удельное давление выдавливания не более 150 кг/мм^2 , то можно применять высокий отпуск, который дает повышенную вязкость. Температуры отпуска: $320-350^{\circ}\text{C}$ для стали X12M и $400-420^{\circ}\text{C}$ для стали X12Ф1. Твердость после отпуска 56-58 HRC.

Если удельные давления более 150 кг/мм^2 , то применяют отпуск при температуре $180-200^{\circ}\text{C}$ (для сталей X12M и X12Ф1), который уменьшает деформации во время выдавливания. При этом достигается твердость 60-62 HRC.

Для предотвращения обезуглероживания целесообразно накрывать детали в нагретом состоянии чугунной стружкой.

Отпуск производится в масле или в электропечи а охлаждение после отпуска - на воздухе. Время отпуска при низких температурах 2,5-5 часов, при высоких температурах - не менее 2,5 часов.

Стали карбидного класса очень чувствительны к шлифованию. Особенно после закалки на поверхностях образуются микротрещины, которые содействуют разрушению мастер-пуансонов при вдавливании. Поэтому надо не позже 2 часов после шлифования пуансоны нагревать в масле при температуре 150-170°C в течение 2-2,5 часов. Иногда можно шлифовать мастер-пуансоны перед термообработкой. В таком случае следует нагревать мастер-пуансоны для закалки в защитной атмосфере. Полированные мастер-пуансоны можно также покрывать хромом (0,02-0,03 мм) и после этого закалять. После термообработки производят только полирование мастер-пуансонов.

Из вышеприведенного выясняется, что технология изготовления мастер-пуансонов сложная, требует большого внимания и точности. Неточности термообработки мастер-пуансонов, особенно при применении высоколегированных инструментальных сталей, нередко вызывают их выход из строя во время выдавливания.

Для хорошей организации труда необходимо разделить мастер-пуансоны по размерам на 4-5 групп. Для каждой группы заказывают нужное количество поковок, которые обрабатывают термически по соответствующей технологии. Таким образом достигается и повышение стойкости мастер-пуансонов.

Марка стали	Нормализация		Сфероидизирующий отжиг		
	температура нагрева, °C	температура нагрева, °C	время выдержки при 710 ± 15 °C, час	охлаждение	твердость после отжига НВ
А	930	730-800	8	Воздух	100
10	930	730-800			110
20	900	730-780	120		
35	860	730-760	6		135
45	820	730-760			145
12ХНЗА	930	730-820	8	25-30 град/час	160
У8А	770	680-750		8	до 600°C, затем на воздухе
У10А	840	680-750	183		

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

инж. А.А. Рудзитис (Рига)

На Рижском опытном заводе технологической оснастки широко применяется метод холодного выдавливания при изготовлении формообразующих деталей штампов и пресс-форм. С использованием этого метода в 1967 г. было изготовлено 13500 деталей, при этом применялись все известные технологические приемы выдавливания.

Открытым способом формообразование производилось в исключительных случаях, когда требовалось получить неглубокие полости по 4-5-му классу точности с элементами гравировки на поверхности. Значительно более широко используется полузакрытый способ выдавливания с применением облегчающих камер и приемных колец.

Основное количество матриц изготовлено с применением закрытого способа выдавливания.

Для получения формообразующих полостей сложной формы с элементами рельефа на поверхности применяется технологический прием двукратного выдавливания. В этом случае предварительно выдавливается гладкая полость без рельефа, после чего вторым мастер-пуансоном выдавливается рельеф. Необходимость выдавливания по такой схеме вызвана тем, что при выдавливании полости за один прием элементы рельефа мастер-пуансона не выдерживают возникающих нагрузок. Двукратное выдавливание было использовано при получении формообразующих поверхностей различной конфигурации. При этом стойкость мастер-пуансонов возросла в 10-15 раз по сравнению с однократным выдавливанием. Примером формообразующей детали, изготовленной с применением двукратного выдавливания может служить матрица пресс-формы на педаль детского велосипеда.

Выдавливание формообразующей поверхности матрицы пресс-формы на ручку велосипеда за один прием осуществить нельзя, так как рифления, если их рассматривать в направлении движения мастер-пуансона, имеют поднутрения. Поэтому сначала была выдавлена гладкая полость (рис. 1а), а затем в два приема - рифления (рис. 1б).

При изготовлении пуансонов пресс-форм, имеющих, как правило, выступающие формообразующие поверхности (рис.2а), используется прием выдавливания в мастер-матрицу. В этом случае заготовка (1) помещается в обойму (2) (рис.2б) и при помощи пуансона с плоским торцом (3) вдавливается в формообразующую полость мастер-матрицы (4), в результате чего на заготовке образуется соответствующий сложно-фасонный выступ.

Имеет место изготовление формообразующих деталей с применением нескольких технологических методов. Например, при выдавливании рифленой полости с буртиком изготовление мастер-пуансона затруднено, так как буртик препятствует выходу инструмента при фрезеровании рифлений и требуется большая слесарная приработка. Поэтому выдавливается полость без буртика, который затем изготавливается путем механической обработки. При использовании приема выдавливания в мастер-матрицу часть формообразующей поверхности была получена методом электрохимической обработки, после чего производилось выдавливание.

В зависимости от требований выдавливание производится в заготовки из следующих марок стали: А, 312, 10, 20, Ст. 3, 45, 12ХНЗА, 20Х, 40Х, У8, У10, Х12, ШХ15, 5ХНМ, 3Х2В8.

Заготовки, изготовленные из стали А, 312, 10, 20 и Ст.3 не подвергаются предварительной термообработке, заготовки из остальных марок стали отжигаются, после чего имеют следующую твердость: 12ХНЗА, 20Х, 40Х-НВ120-150; У8, У10-НВ155-180; Х12, ШХ15, 5ХНМ-3Х2В8-НВ 190-200. Выдавливание в заготовки из высоколегированных сталей производится на глубину 10-15 мм.

Материалом для изготовления мастер-инструмента служит сталь Х12М, иногда У8, Р18. Проведены опытные работы с мастер-пуансонами, изготовленными из стали Х6ВФ, которые дали положительные результаты. По предварительным данным можно рекомендовать сталь Х6ВФ для изготовления мастер-пуансонов. Закалка мастер-инструмента из стали Х12М производится по следующей методике: подогрев до 800° со скоростью 2 мин/мм, нагрев до 1020-1040°, охлаждение в селитровой ванне до 400°, затем на воздухе. Отпуск при 200-250° в течение 2-3 часов. Твердость закаленного мастер-инструмента НРС 59-61.

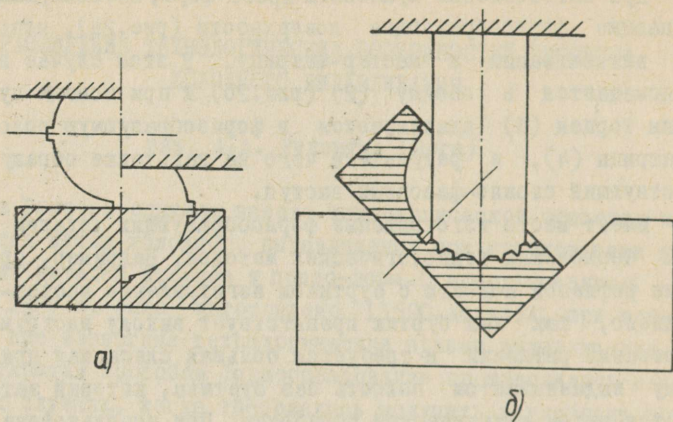


Рис. 1. Схема выдавливания формообразующей поверхности с элементами поднутрений.

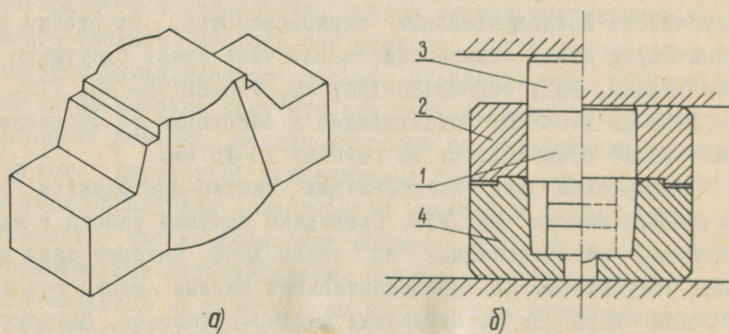


Рис. 2. Схема выдавливания в мастер-матрицу.

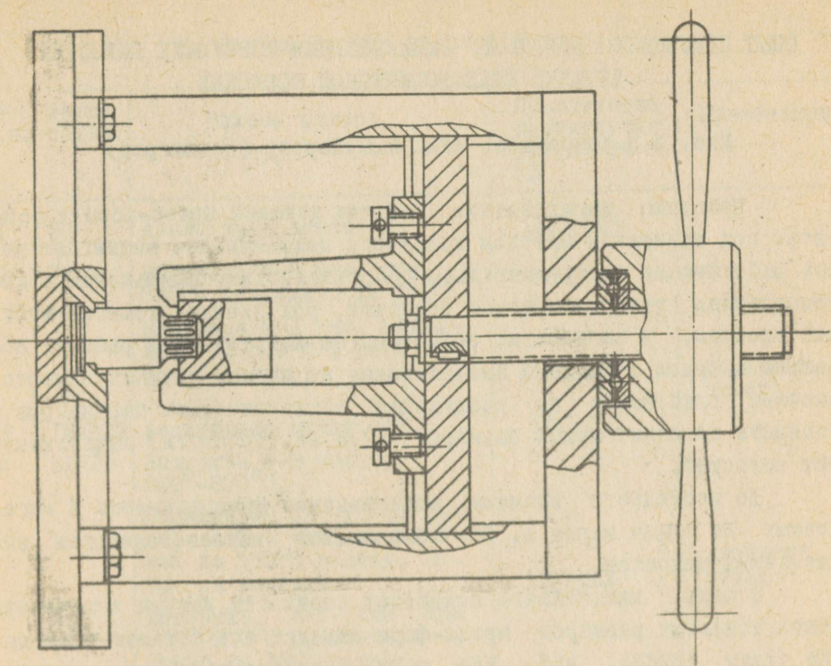


Рис. 3. Приспособление для извлечения мастер-пуансонов.

Извлечение мастер-пуансонов производится на специальном настольном приспособлении, оснащенном захватами (рис.3). Конструкция его исключает возможность поломки мастер-пуансона. Времени на извлечение требуется в 2-3 раза меньше, чем при работе на ранее известных приспособлениях.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ФОРМУЮЩИХ ПОЛОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Инж. Л.П.Азаренков, инж. М.С.Портер (Ленинград)

Практика изготовления рабочих деталей пресс-форм и форм литья под давлением методом холодного выдавливания выдвигает перед работниками инструментального производства, связанными с изготовлением технологической оснастки, ряд сложных технологических проблем. В частности, особенностью изготовления рабочих полостей методом холодного выдавливания во многих случаях являются высокие требования по соблюдению геометрических параметров и точности исполнительных размеров (2-4 кл. точности) выдавливаемых полостей.

До последнего времени выдавливание производилось в заготовках из стали марок А, 10, 20 с низкой износостойкостью выдавленных полостей.

В целях дальнейшего повышения стойкости матриц и точности исполнительных размеров пресс-форм находят все большее применение стали 12ХНЗА, 40Х, У8А, а для форм литья под давлением на алюминиевые и цинковые сплавы - стали 3Х2В8, 3Х10В2Ф, 3Х13.

Остановимся на некоторых вопросах, связанных с технологической разработкой и выполнением процесса холодного выдавливания.

Предварительный расчет размеров заготовок для холодного выдавливания как круглого, так и прямоугольного сечения производится по методике РТМ 113-63 с последующей корректировкой их в процессе опытной обработки. Заготовки из сталей А, 10 и 20, рассчитанные по этой методике, получают завышенными по габаритам и в процессе обработки уменьшаются; для легированных сталей 12ХНЗА, 3Х2В8 - габариты остаются расчетными или увеличиваются.

Все заготовки (исключение составляют заготовки из стали А) после обработки по габариту подвергаются отжигу по режимам, приведенным в таблице.

Режимы отжига заготовок матриц

№ п.п.	Марка стали	Режимы отжига	Практически достигнутая твердость НВ	Примечание
1	20	Аналогично стали 40Х	II5÷I25	
2	У8А	Выдержка 4-5 час. при 850°С охлаждать до 750°С. Выдержка 2-3 час. Охлаждать до 500°С в печи, затем на воздухе	I60÷I65	Двукратн. отжиг
3	I2ХН3А	Аналогично стали 40Х	I40÷I50	
4	3Х2В8	Выдержка 4-5 час при 800°-820°С. Охлаждение до 720°С. Выдержка 2-3 час, охлаждение до 500°С в печи, затем на воздухе.	I90÷200	Двукратн. отжиг
5	40Х	Выдержка 4-5 час при 900°-950°С. Охлаждать с печью до 400°С, затем на воздухе	I40÷I50	

После отжига заготовки обрабатываются гидроабразивным способом с целью удаления окалины с наружных поверхностей, затем шлифуются по рабочему торцу и полируются, обеспечивая 9-10 класс чистоты поверхности.

Для получения 2-4 класса точности исполнительных размеров выдавливаемых полостей наиболее часто приходится применять полное закрытое выдавливание. Заготовки круглого и прямоугольного сечения выполняются с уклоном 3 град. по плоскостям, контактирующим с обоймой, и с обеспечением натяга в обойме.

Для изготовления мастер-пуансонов применяются поковки из сталей Х12Ф1 и Х12М с баллом карбидной неоднородности не выше 3. Однако получение заготовок из сталей Х12Ф1 и Х12М из прутка диаметром выше 40 мм с карбидной неоднородностью менее 3 баллов весьма затруднительно. Поэтому при изготовлении мастер-пуансонов

используются поковки из стали 9ХС, карбидная неоднородность которой не превышает 3 баллов.

Применение стали 9ХС дало положительные результаты и при обработке выдавливанием полостей в заготовки из сталей 12ХНЗА и 3Х2В8.

Закалка стали 9ХС производится при температуре 860-870°С с выдержкой на соляной ванне 20 сек, а в печи - 1 мин на каждый миллиметр сечения пуансона. Средой закалки служит масло, твердость металла после закалки 62-64 НРС. Отпуск производится при температуре 160-180°С на твердость 60-62 НРС.

При разработке технологического процесса на холодное выдавливание производится предварительно расчет потребного удельного давления P_T и сравнение полученного результата с допустимым напряжением инструмента на сжатие $[\sigma_{сж}]$.

В случаях, когда $P_T > [\sigma_{сж}]$ с целью снижения удельного давления выдавливания вводятся облегчающие камеры. Форма и размеры последних выбираются и рассчитываются по методике, предложенной А.И.Хибемяги.

Во избежание поломки мастер-пуансонов производится опытное выдавливание, в процессе которого по манометру определяется фактическое усилие выдавливания. В случае приближения фактического удельного давления P_T к критическому напряжению $[\sigma_{ск}]$ для мастер-пуансона процесс выдавливания прекращается и производится корректировка размеров заготовки или облегчающих камер.

В качестве смазки мастер-пуансонов используется насыщенный раствор медного купороса в 3-процентном водном растворе соляной кислоты.

Был опробован состав смазки, рекомендованный Ленинградским механическим институтом:

медный купорос	- 45 г
щевелевая кислота	- 15 г
вода дистиллированная	- 0,5 л

Качество покрытия хорошее. Поверх медного купороса мастер-пуансон по боковым поверхностям смазывается машинным маслом. Смазке машинным маслом подвергаются также боковые поверхности заготовок.

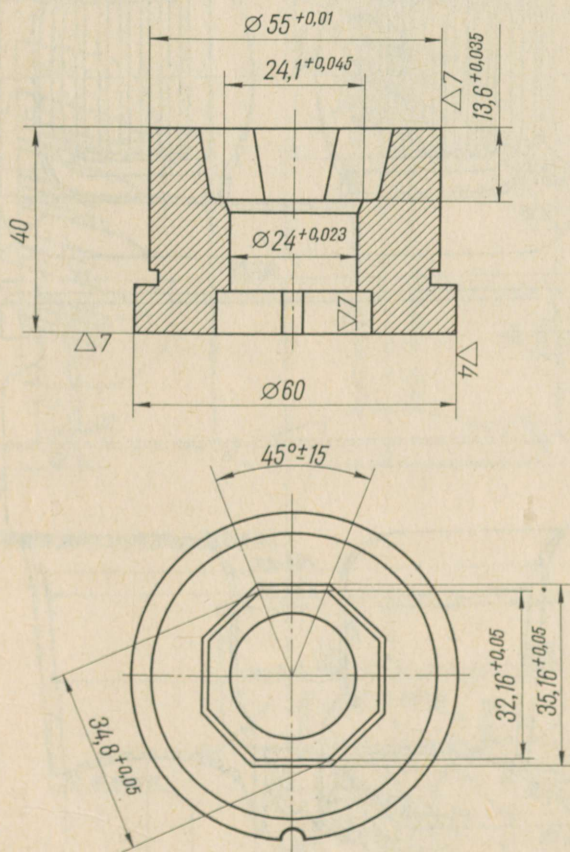


Рис. 1. Матрица для восьмигранной ручки.

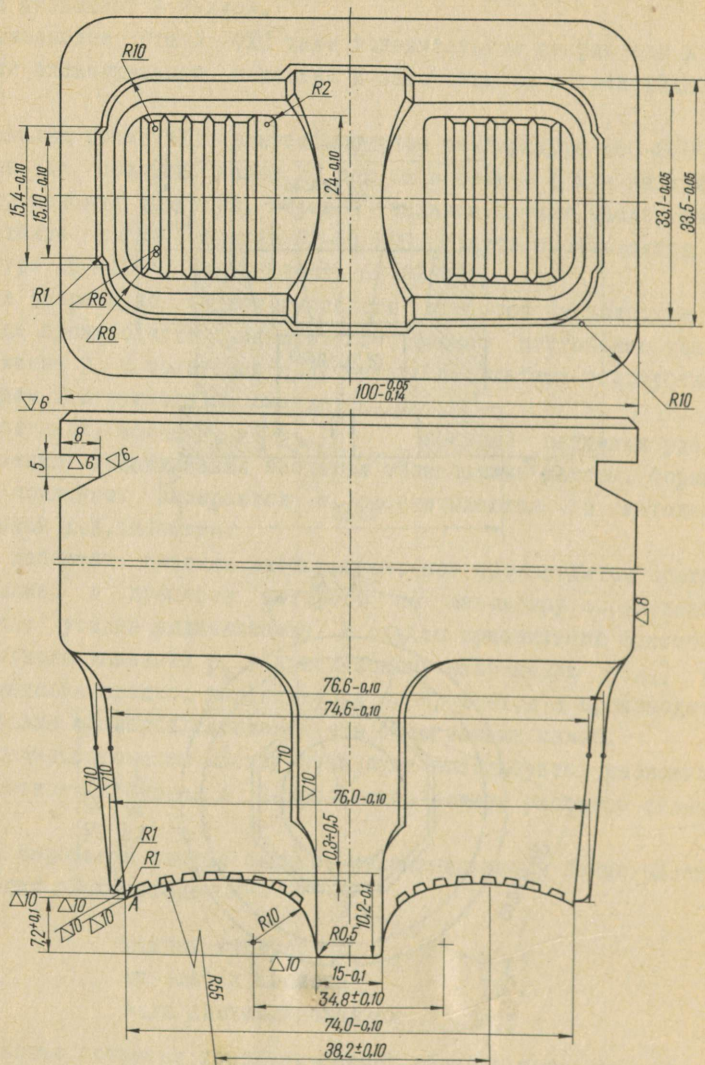
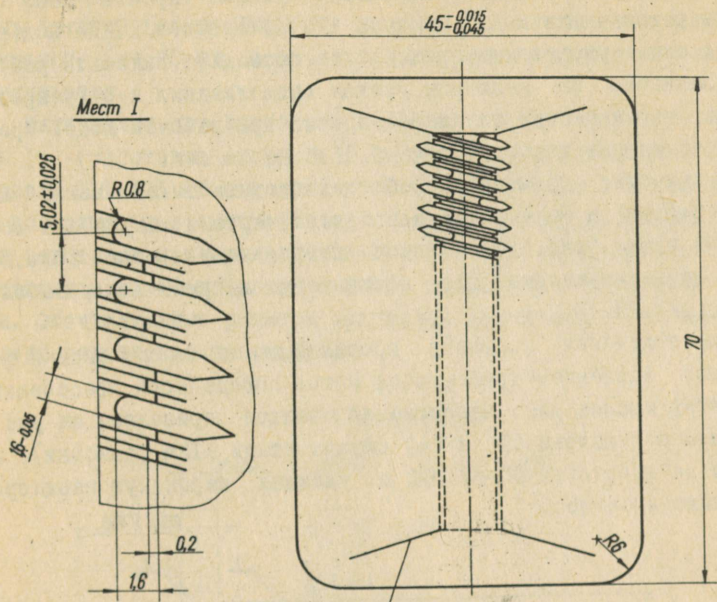


Рис. 2. Мастер-пуансон для корпуса штепсельной вилки.



Острую грань притупить $RR2=4$ мм

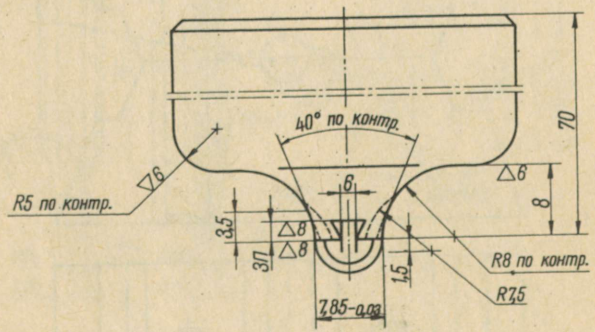


Рис. 3. Мастер-пуансон для резьбового стержня.

Для холодного выдавливания полостей используется гидравлический пресс модели ПО-54 (номинальное усилие пресса 2000 тс).

По рекомендациям А.Э.Киециса и Таллинского ПТНИИ модернизирована схема управления пресса, что позволяет включать рабочий ход независимо от величины усилия выдавливания и регулировать скорость перемещения плунжера пресса при рабочем ходе. Предел регулирования при холостом ходе 0,01-0,06 мм/сек.

В качестве примеров обработки холодным выдавливанием матриц пресс-форм и форм литья приводятся чертежи матриц для восьмигранной ручки (рис.1), корпуса штепсельной вилки (рис.2) и чертеж мастер-пуансона для выдавливания матрицы для резьбового стержня (рис.3).

Для получения наружных профилей знаков пресс-форм и форм литья под давлением применяется метод поперечного прессования. Конструкция штампа для прессования знаков приведена на рис.4. Материалом полуматриц (2) и (4) служит сталь Х12М (поковки), закаленная до твердости 60-62 HRC и имеющая карбидную неоднородность около 4 баллов.

76/78/

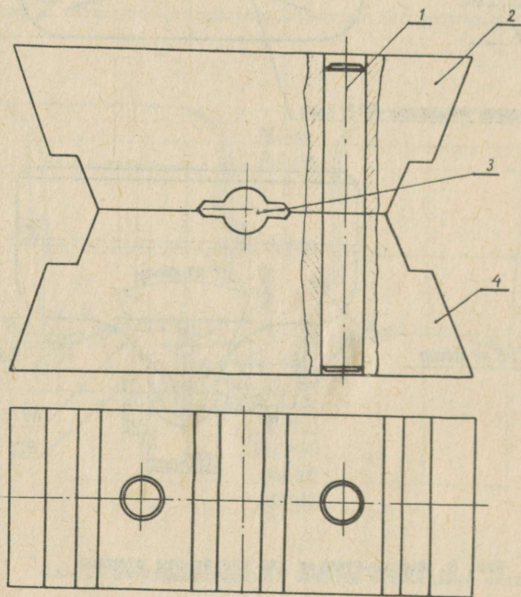


Рис. 4. Штамп для прессования знаков пресс-форм.

Однако использование цементируемых сталей для изготовления знаков не всегда желательно, так как при наличии тонких ребер (лепестков) с толщиной до 0,4 мм, последние цементируются и прокаливаются насквозь, что снижает их стойкость. Поэтому были проведены опытные работы по формовке знаков из стали У8А в холодном состоянии. Из стали У8А была изготовлена партия знаков в количестве 40 шт. Заготовки после предварительной проточки отжигались до твердости I65-I68 НВ.

С целью снижения нагрузки на рабочие полости штампа предусматриваются облойные канавки.

Технологическим процессом предусмотрено предварительное прессование для отработки штампа и заготовки, окончательное выдавливание партии деталей, окончательная опиловка контура в наметке и проточка хвостовика с подрезкой торца.

Процесс прессования производится на прессе ПО-54 с использованием режима чеканки (усилия до 150 тс). Характерные профили знаков, получаемых холодным поперечным прессованием, показаны на рис. 5.

В целом, внедрение процессов холодного выдавливания при изготовлении матриц и поперечного прессования при получении знаков матриц дало значительный экономический эффект.

1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880



Бесилатно

XI

A

A-18402

242 171

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00549184 2