

Тема 4 . Выдавливание полостей технологической оснастки.

4.1. Основные сведения о процессе выдавливания полостей технологической оснастки

Холодное выдавливание рельефных полостей в формообразующих деталях оснастки заключается в получении чёткого оттиска в заготовке, помещенной в пакет – штампа, от рельефной части мастер-пуансона путём вдавливания его в металл заготовки. Технологический процесс выдавливания штампового инструмента осуществляется несколькими способами (рис.4.1):

- осевое;
- сквозное ;
- выдавливание обжатием.

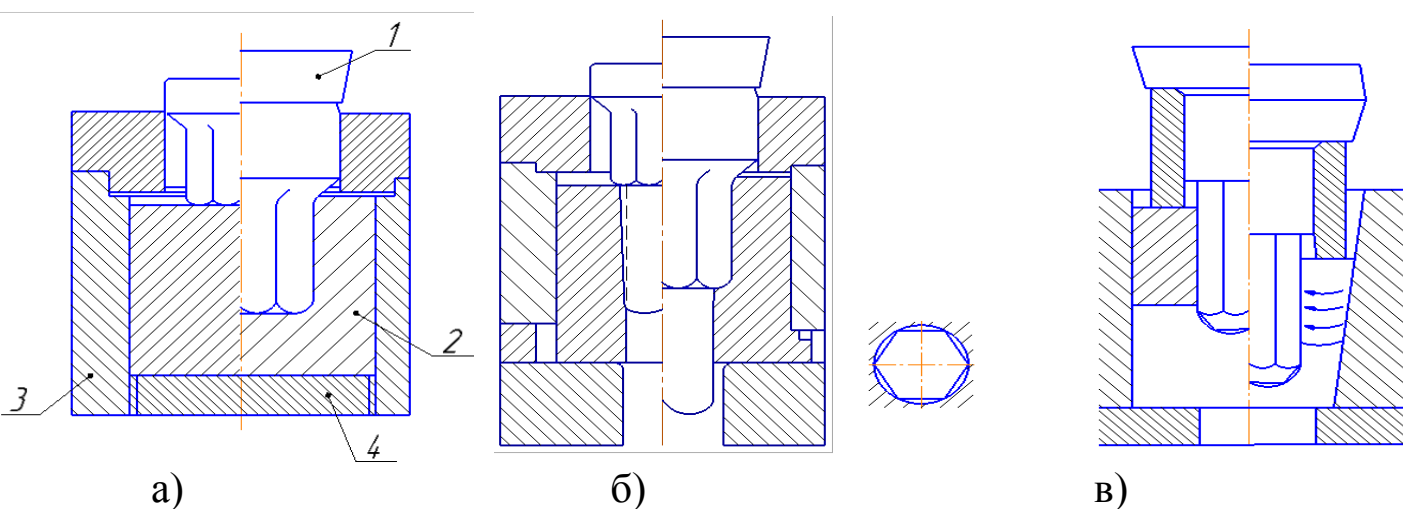


Рисунок 4.1.Способы выдавливания штампового инструмента

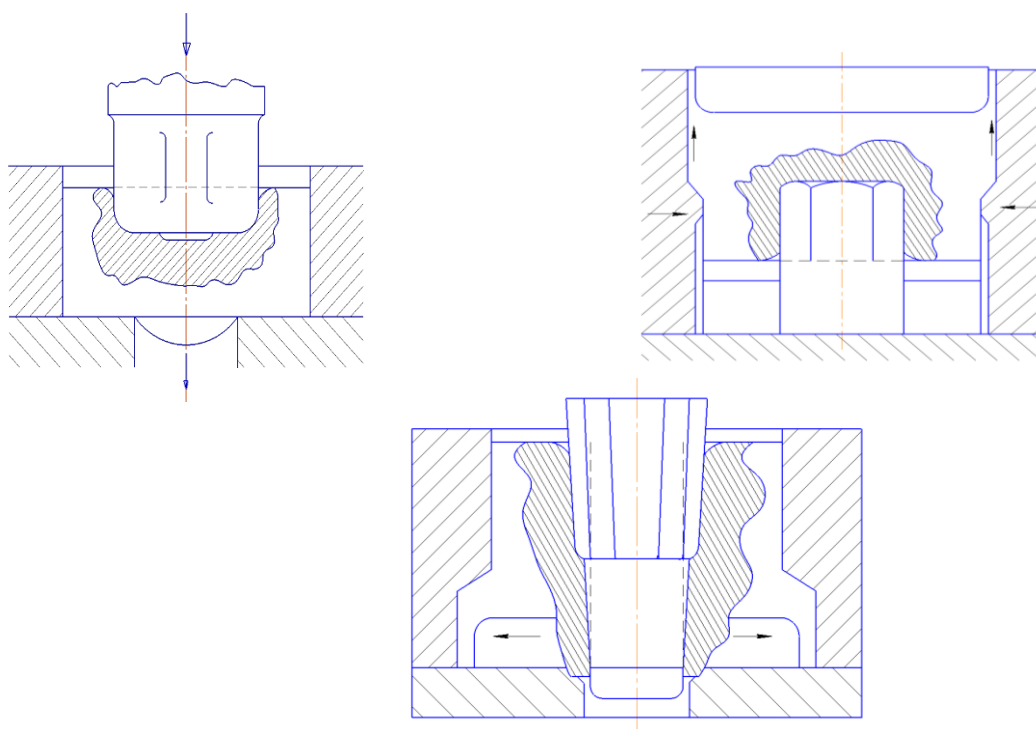
а – осевое; б – сквозное; в - обжатием.

В зависимости от характера воздействия обжимки пакет - штампа на периферийные зоны заготовки, различают следующие способы выдавливания, реализуемые при всех трёх основных способах(рис 4.2) :

- а) закрытое выдавливание;

- б) полузакрытая выдавливание;
- в) совмещенное выдавливание;
- г) открытое выдавливание.

Рисунок 4.2 Способы воздействия обоймы на заготовку



Формообразование полостей вышеприведёнными способами можно вести в холодной или нагретой заготовке.

Холодное выдавливание выполняется при нормальной температуре заготовки (20°C), тёплое- при температуре $180-200^{\circ}\text{C}$, полугорячее при температуре $650-800^{\circ}\text{C}$ и горячая - в интервале ковочных температур.

В зависимости от условий формообразования полости в заготовке, физико-механических свойств материала, выдавливание может быть проведено с различной скоростью деформирования (от $0,01\text{мм/с}$ до 250м/с). В связи с этим различают гидростатическое выдавливание, которое осуществляется при

скорости деформирования $V=2\div 150\text{мм/с}$, гидродинамическое выдавливание ($V=200\div 1000\text{мм/с}$), выдавливание с использованием эффекта сверхпластичности, высокоскоростного импульсного выдавливания ($V\geq 1000\text{мм/с}$).

Выдавливание рельефных полостей используется при изготовлении:

а) матриц для прессования резины, восковых моделей для заливки эпоксидопластов, пресс-форм для термопластов, форм для заливки стекла. Для матриц используются заготовки из углеродных и низколегированных сталей.

б) пресс-форм для порошков, матриц для гибочных штампов, холодной высадки, для вытяжных штампов, чеканочных и обрезных штампов,. Для матриц используются заготовки из инструментальных и штамповых сталей.

в) матриц для горячей обработки давлением, для полугорячей штамповки, пакеты штампов для горячей штамповки на молотах и прессах, формы для литья под давлением и жидкой штамповки медных сплавов.

Для изготовления матриц используются заготовки из штамповых сталей марок - 40Х; 12Н3А; У10А; 7Х3; 5ХНВ; 4Х8В2; 3Х2В8Ф.

Основные преимущества применения холодного выдавливания полостей технологической оснастки следующие:

- Повышение эксплуатационной стойкости инструмента (в $1,5\div 3$ раза);
- Получение размеров полостей до 7 квалитета точности при шероховатости поверхности до $Ra=0,05\div 0,1\text{мкм}$;
- Снижение себестоимости изготовления пресс-форм и штампов до 10 раз по сравнению с другими видами обработки за счет экономии металла;
- Повышение производительности труда рабочих инструментальщиков в $5\div 10$ раз.

По возрастанию технологической сложности параметры полостей, полученных выдавливанием, сгруппированы в три группы (таблица 4.1)

Таблица 4.1. Характеристика сложности получения рельефных полостей выдавливанием.

Параметры	Группа технологической сложности		
	1	2	3
Форма сечения в плане	Простые симметричные многогранные	Сложные несимметричные	Удлиненные (ручки, вилки)
Относительная глубина полости $\lambda = h/d$	до 0,5	0,5÷1,5	1,5÷10
Твёрдость заготовки, HB	100÷130	130÷170	170÷240
Квалитет точности	11÷12	9÷10	7÷8
Шероховатость, Ra	0,4÷0,8	0,1÷0,2	до 0,1

где h - глубина выдавливания полости;

d - диаметр полости.

Необходимо отметить, что указанная твёрдость HB соответствует маркам стали HB=130 - сталь 10,15,20; HB=130÷170 - сталь 40X, 12H3A, У10А; HB=170 ÷240 - сталь 5ХНВ, 3Х2В8Ф, Х12М, 4Х5В2ФС;

4.2 Характеристика основных способов выдавливания полостей технологической оснастки.

Закрытое выдавливание - способ, осуществляемый путём вдавливания мастер-пуансона в заневоленную по боковой поверхности заготовку.

При таком способе деформирования в заготовке создаётся напряжённое состояние всестороннего неравномерного сжатия, обеспечивающее высокую пластичность материала, что позволяет получать относительно глубокие полости. Этот способ вызывает большие удельные усилия $p=2,5÷3,5$ ГПа, что приводит к необходимости применять заготовки с облегчающими камерами.

Закрытым холодным выдавливанием можно получить сравнительно глубокие полости ($\lambda = h/d < 4 \div 5$) с высокой точностью (7÷8 квалитет) и малой шероховатостью поверхности ($Ra \leq 0,1 \text{ мкм}$). Этот способ применяют в основном для получения глухих или полуглухих рабочих полостей из инструментальной стали повышенной пластичности.

Для осевого закрытого выдавливания используют как правило универсальные пакет-штампы.

Полузакрытое выдавливание - способ осуществляемый вдавливанием мастер пуансона в заготовку, у которой большая часть поверхности заневолена, а меньшая - остаётся свободной и может в процессе выдавливания полости течь в радиальном направлении наружу с увеличением его начального периметра. Перемещение свободной поверхности заготовки в радиальном направлении возможно благодаря компенсационным камерам в оснастке в виде кольцевой полости. Эта схема выдавливания обеспечивает удовлетворительную стойкость мастер-пуансона. Удельные усилия при этом не превышают $1,2 \div 1,8 \text{ ГПа}$. Полузакрытым выдавливанием можно получить выдавленные полости приемлемой точности (9-11 квалитет) с шероховатостью поверхности $Ra = 0,2 \text{ мкм}$.

Полузакрытое осевое выдавливание в стальных заготовках применяют для получения крупногабаритных полостей в универсальных пакет-штампах (если позволяют размеры заготовки). В противном случае изготавливают специальные бандажированные обоймы.

Совмещённое выдавливание - способ, осуществляемый вдавливанием мастер-пуансона в заготовку с одновременным её обжатием в конической или ступенчатой матрице. При этом происходит вдавливание с осевым течением материала при одновременном обжатии заготовки, сопровождающимся радиальным течением материала от периферии к центру. Такая схема деформирования обеспечивает большую пластичность материала. Она позволяет получать в холодную относительно глубокие глухие или сквозные полости ($\lambda = 3,5$

÷4) в высоколегированных трудно деформируемых сталях, высокой точности (квалитет 6÷8) и с малой шероховатостью $Ra=0,2\div0,1\text{ мкм}$

Совмещенное выдавливание проводят в незакреплённых на прессах бандажированных обоймах специальной конструкции.

Открытое выдавливание - способ, осуществляемый вдавливанием мастер-пуансона в заготовку, свободно расположенную на подштамповой плите. Материал заготовки течёт, в основном, в радиальном направлении увеличивая её периметр. Такая схема деформирования обуславливает минимум технологической оснастки и времени на подготовку производства. Она позволяет получать крупногабаритные полости на имеющемся прессовом оборудовании и обеспечивает высокую стойкость мастер-пуансона т.к. удельные усилия не превышают $p_t=1,0\div1,5\text{ ГПа}$, при точности изготовления по 12÷14 квалитету и шероховатости $Ra=0,4\div0,2\text{ мкм}$

Обычно открытое выдавливание применяют в заготовках из низкоуглеродистой стали ($HB<220$) с уклоном стенок полостей $\alpha\approx10\div15^\circ$, а также для получения неглубоких полостей и гравюр в штамповых кубиках полугорячим и тёплым выдавливанием.

4.3 Гидростатическое и гидродинамическое выдавливание формообразующих полостей.

Пластичность материалов проявляемая при различных технологических схемах деформирования, зависит от созданной схемы напряжённого состояния. Для создания благоприятной схемы напряжённого состояния при выдавливании полостей применяют: прижимы, а также гидростатическое и гидродинамическое выдавливание.

Под прижимами понимается способ приложения дополнительной нагрузки к определённым зонам свободной поверхности деформируемой заготовки, в целях предотвращения образования трещин в этих зонах.

По характеру воздействия на место приложения нагрузки все прижимы делят на три группы: жёсткие, пластичные, гидростатические.

Наиболее благоприятные условия деформирования создаются при использовании *гидростатического* и *гидродинамического* выдавливания, которые существенно изменяют схему напряжённо-деформированного состояния и без использования прижимов, т.к. роль прижима выполняет жидкость.

Для повышения пластичности малопластичных и хрупких в обычных условиях материалов, используют прессы для гидростатического и гидродинамического выдавливания, в которых заготовки находятся в условиях неравномерного всестороннего сжатия. Например: относительная степень деформация вольфрама и молибдена может повысится при гидростатическом и гидродинамическом выдавливании от 0 до 82% и от 33 до 86% соответственно при применении жидкости под давлением 2700 МПа.

Гидроэкструзия

Одним из примеров прессования жидкостью высокого давления является гидроэкструзия. Заготовка деформируется не жёстким пуансоном, а жидкостью, подаваемой в пол контейнера (рис. 4.3).

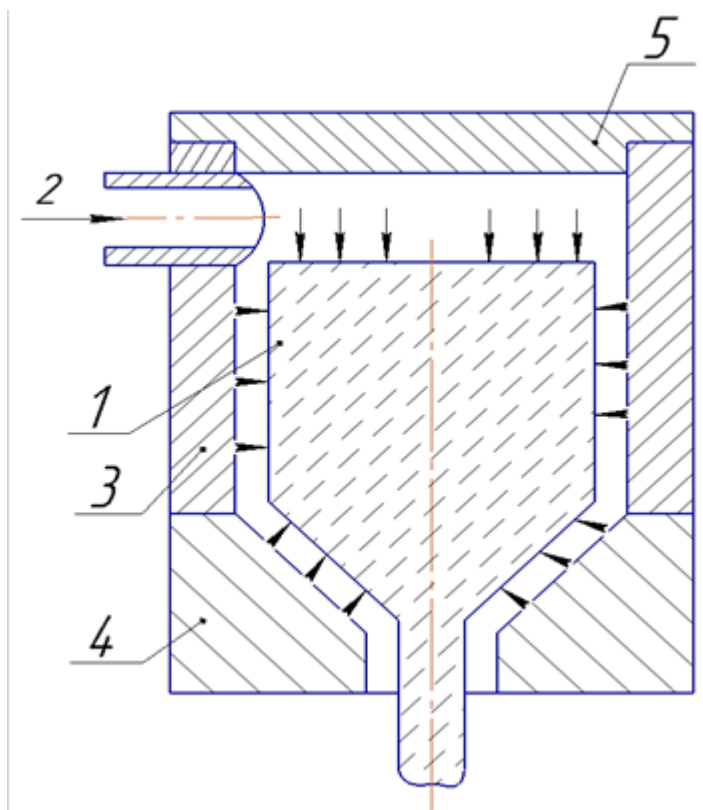


Рисунок 4.3 - Схема прессования жидкостью высокого давления. 1 - заготовка; 2 - жидкость высокого давления; 3 - контейнер; 4 - матрица.

Преимущества процесса: значительное повышение пластичности обрабатываемого металла; отсутствие неравномерности деформации; значительное уменьшение удельного давления прессования (на 30-40%); возможность деформирования в холодном состоянии; повышение стойкости матриц; улучшение структуры и свойств обработанного металла.

Гидроэкструзия позволяет обрабатывать тугоплавкие и хрупкие материалы и изготавливать из них широкую номенклатуру изделий (профили, трубы, проволоки, биметаллы и др.).

К недостаткам метода можно отнести: сложность конструкций и эксплуатацию оборудования для создания и удержания давления жидкости до 3000 МПа и выше; резкое возрастание скорости движения экструдированного изделия с ростом давления жидкости (скорость пули); необходимость проведения предварительной заточки переднего конца заготовки и других операций, что повышает трудоёмкость процесса.

В зависимости от давлений и температур обработки применяют различные типы жидкостей: жидкое стекло, глицерин, воду, масла, силикон, керосин, битумы и др.

Применение гидроэкструзии оправдано: при получении изделий из труднодеформируемых материалов; при изготовлении изделий с большими степенями деформации (коэффициент вытяжки 200 и более); при необходимости улучшения физико-механических эксплуатационных свойств обрабатываемого материала; для получения тонкостенных труб и профилей высокой точности; при получении изделий из композиционных, порошковых и других материалов.

Главным элементом *гидростата* является рабочая камера, представляющая собой толстостенный многослойный цилиндр, с одной стороны которого имеется матрица с отверстием, а с другой затвор или крышка для загрузки заготовки. Заготовка уплотняется в месте контакта с матрицей с помощью уплотнительных устройств. В рабочую камеру подается рабочая жидкость под высоким давлением (1000 – 2800 МПа). Заготовка, оказываясь под таким гидростатическим давлением выдавливается в отверстие матрицы.

Например для изготовления прутков, труб и профилей различного сечения. используются устройства для изостатической экструзии. Схема экструдера представлена на рис.4.3.

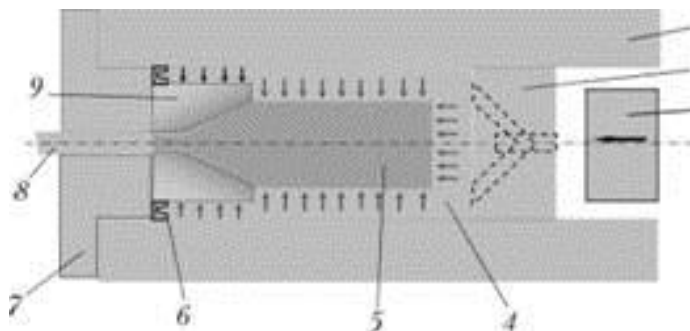


Рисунок 4.4 - Схема устройства для изостатической экструзии:

1 – приемный цилиндр; 2 – пресс-шайба; 3 – пуансон; 4 – сжимающая жидкость; 5 – порошок; 6 – уплотнение; 7 – упорная плита матрицы; 8 – изделие; 9 – матрица

Процесс получения заготовок заключается в выдавливании порошка 5 через комбинированное отверстие матрицы пресс-формы 9. В порошок добавляют пластификатор до 10–12% мас., улучшающий процесс соединения частиц и уменьшающий трение о стенки пресс-формы. Профиль изготавливаемой детали зависит от формы калиброванного отверстия. Полые профили получают с применением рассекателя, металлокерамические – выдавливанием на гидравлических и механических прессах

Применяемая рабочая жидкость выполняет функции передающей среды и смазки.

При давлении до 2000 МПа – применяют минеральное масло в качестве рабочей жидкости, а более (до 3000 МПа) – глицерин или гликоль.

Толстостенные рабочие камеры применяют только при давлении жидкости не более 1800 МПа.

При давлении до 3500 МПа устанавливают рабочие камеры, в которых используется высокое наружное давление, создаваемое в контейнере.

Уплотнители в установках для гидростатического выдавливания выполняют в виде тефлоновых манжет с кольцами из меднобериллиевого сплава.

Преимущества процесса гидростатического выдавливания заключаются:

- в равномерности давления на поверхности;
- в возможности воздействия на сложные и меняющиеся формы;
- в простоте и легкости повторяемости процесса.

При гидростатическом выдавливании диапазон скоростей деформирования от 2 до 150 мм/с.

Другим способом получения полостей технологической оснастки является горячее *гидродинамическое выдавливание* (ГГДВ) со скоростями деформирования 200 – 1000 мм/с. При таких скоростях появляется устойчивый

смазочный слой, что способствует получению выдавленной полости с шероховатостью R_a менее 0,1 мкм. Гидродинамическое выдавливание возможно и при скорости деформирования более 10000 мм/с. такой процесс носит название импульсного выдавливания.

Гидродинамическое выдавливание обеспечивает получение профильных заготовок инструментов пластическим формообразованием без последующей обработки резанием. Горячее гидродинамическое выдавливание способствует увеличению степени деформации при наименьших затратах и максимальной производительности.

Рассмотрим схему ГГДВ на примере получения сплошных заготовок инструментов типа мастер - пуансонов, сверл и т.д. (рис. 4.4)

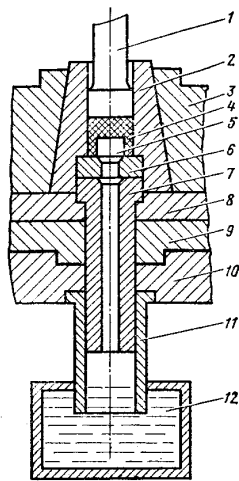


Рис. 101. Схема горячего гидродинамического выдавливания сплошных изделий:

1 — пуансон; 2 — контейнер; 3 — контейнеродержатель; 4 — графитная шайба; 5 — заготовка; 6 — матрица; 7 — калибрующая втулка; 8—10 — плиты; 11 — труба; 12 — емкость с охлаждающей жидкостью

Метод ГГДВ позволяет получать заготовки сверл, разверток, метчиков, фрез и т. д., а также отдельные режущие элементы для различных видов инструментов.

Горячее гидродинамическое выдавливание

Горячее гидродинамическое выдавливание обеспечивает получение профильных заготовок инструментов пластическим формообразованием без последующей обработки резанием.

На рис. 101 приведена схема ГГДВ сплошных заготовок инструментов. В начальный момент выдавливания пуансон через графитную шайбу передает давление на нижний торец нагретой заготовки, острые края которой начинают пластически деформироваться до тех пор, пока усилие деформации не превысит усилие разрушения графитной шайбы. В результате этого создается плотное соединение заготовки с входным конусом матрицы, препятствующее истечению материала промежуточной среды через очко матрицы.

По мере нарастания давления разрушаемый пуансоном графитный материал заполняет свободное пространство вокруг заготовки и частично затекает в зазор между контейнером и пуансоном. В дальнейшем порошкообразная графитная среда уплотняется в такой степени, что довольно равномерно распределяет давление пуансона по боковым и торцовым поверхностям заготовки. В результате этого создается схема гидравлического выдавливания, при которой заготовка подвергается всестороннему сжатию и начинает пластически деформироваться путем истечения в очко матрицы.

По мере нарастания давления разрушаемый пуансоном графитный материал заполняет свободное пространство вокруг заготовки и частично затекает в зазор между контейнером и пуансоном. В дальнейшем порошкообразная графитная среда уплотняется в такой степени, что довольно равномерно распределяет давление пуансона по боковым и торцовым поверхностям заготовки. В результате этого создается схема гидравлического выдавливания, при которой заготовка подвергается всестороннему сжатию и начинает пластически деформироваться путем истечения в очко матрицы.

Рисунок 4.4 Схема горячего гидродинамического выдавливания сплошных изделий

1 — пуансон; 2 - контейнер; 3 — контейнеродержатель; 4 — графитная шайба; 5 - заготовка; 6 - матрица; 7 — калибрующая втулка; 8 — 10 плиты; 11 - труба; 12 — емкость с охлаждающей жидкостью.

В начальный момент выдавливания пуансон через графитную шайбу передает давление на нижний торец нагретой заготовки, острые края которой начинают пластически деформироваться до тех пор, пока усилие деформации не превысит усилие разрушения графитной шайбы. В результате этого создается плотное соединение заготовки с входным конусом матрицы, препятствующее истечению материала промежуточной среды через очко матрицы.

По мере нарастания давления разрушаемый пуансоном графитный материал заполняет свободное пространство вокруг заготовки и частично затекает в зазор между контейнером и пуансоном. В дальнейшем порошкообразная графитная среда уплотняется в такой степени, что довольно равномерно распределяет давление пуансона по боковым и торцевым поверхностям заготовки. В результате этого создается схема гидравлического выдавливания, при котором заготовка подвергается всестороннему сжатию и начинается пластически деформироваться путем истечения в очко матрицы

4.4. Выдавливание полостей с использованием эффекта сверхпластичности.

Сверхпластичностью называют способность металлов и сплавов в определённых условиях к высокому локализованному течению, значительным равномерным деформациям и снижению сопротивления деформации. Различают два основных типа сверхпластичности.

Сверхпластичностью обладают металлы и сплавы на основе алюминия, цинка, магния, меди, хрома, титана, никеля, железа.

Различают два типа сверхпластичности.

Сверхпластичность первого типа(рода) характеризуется созданием специальных внешних условий, обеспечивающих внутренние структурные изменения. Например, чистое железо обладает сверхпластичностью при температуре 850 - 910°C. при этом пластическое течение можно представить как результат направленного смещения отдельных атомов под действием напряжений, возникающих в заготовке при ее деформации. Процесс протекает

при скорости деформации $10^{-5} - 10^{-4}$ 1/с. При этом деформации достигают 500% при сопротивлении деформации равном 2МПа. Такой процесс носит название - *диффузионная сверхпластичность*.

Сверхпластичностью второго типа - структурной или изотермической – обладают металлы и сплавы с мелким зерном при температуре выше $0,5T_{пп}$ в определённой области скоростей деформации. Сверхпластичность этого типа отличается от явления ползучести большей чувствительностью напряжения течения металла к скорости деформации. Кроме того, напряжение сверхпластического течения чрезвычайно чувствительна к изменению размера и формы зерна. Установлено, что при скорости деформации от 10^{-4} до 10^{-1} с^{-1} свойства сплавов приближаются к свойствам вязких веществ и полимеров.

Сверхпластичностью второго типа обладают быстрорежущие стали марок Р5М6, Р18.

Объёмная деформация быстрорежущих сталей в условиях сверхпластичности устраняет исходную структурную неоднородность. Сравнение технологических возможностей выдавливания полостей в заготовках из инструментальных легированных и быстрорежущих сталей в состоянии сверхпластичности по сравнению с полугорячим выдавливанием показало снижение удельных усилий на пунсоне в 6-7 раз и в 3-3,5 раза соответственно.

Схема технологического процесса выдавливания полости в заготовках в состоянии сверхпластичности включает:

- снятие дефектного слоя горячекатаного проката $R_z=80$;
- отрезку заготовки, нанесение защитного смазочного покрытия стеклографитовой смеси (85% кристаллического графита, 10 ± 15 стекла № 269, размер частиц 100 мкм, связующее - жидкое стекло);
- сушку и спекание покрытия при 200°C ;
- нагрев заготовок до температуры деформации;
- загрузку в изотермический штамп;
- деформирование на прессе со скоростью 3 мм/с;

- снятие защитного смазочного покрытия;
- операции последующей обработки.

Важным условием успешного внедрения технологического процесса формоизменения в состоянии сверхпластичности является правильный выбор типа и скоростных характеристик деформирующего оборудования.

4.5 Высокоскоростное выдавливание полостей (ВВП).

Особенности процесса высокоскоростное выдавливание полостей

Все высокоскоростные процессы изготовления точных заготовок деталей штампов и пресс-форм сведены в два направления :

- высокоскоростное горячее выдавливание (ВСГВ) с помощью установок типа копров, допускающих скорость деформирования 30+250м/с;
- штамповка точных заготовок деталей штампов на высокоскоростных кузнечнопрессовых машинах.

Процесс высокоскоростного выдавливания полостей состоит из двух стадий : осадки заготовки и динамического выдавливания. На второй стадии процесс протекает за счёт кинетической энергии пуансона и деформирования среды. Эта стадия заканчивается при полном переходе кинетической энергии в работу пластической деформации и в энергию упругой деформации штампа.

Высокоскоростное выдавливание приводит:

- к изменению механические свойств металла;
- увеличению сопротивления деформированию.
- Это приводит к более значительное упрочнение, чем при деформации с пониженной скоростью.

Сопротивление деформированию горячего материала определяется степенью деформации, температурой и продолжительностью контакта заготовки с инструментом

$$\sigma_s = f(e, \varepsilon, T, t) \quad (4.1)$$

Для процессов ВВП определены скорости истечения называемые **критическими** , при которых нарушается сплошность деформируемого металла.

Значение этих скоростей зависят от механических свойств обрабатываемого металла, температуры и степени деформации. При ковочных температурах они не превышают 100 м/с для жаропрочных сплавов на никелевой основе, а для легированных и титановых сплавов изменяются в диапазоне 300÷400 м/с.

Высокоскоростное горячее выдавливание полости (ВТВП) можно назвать импульсным так как, для этих целей используют установки метательного высокоскоростного выдавливания на основе пороха. Принцип работы установки заключается в следующем:

- нагретая заготовка устанавливается в приспособлении на плите;
- мастер-пуансон соединяется чекой с патронником, который устанавливается в казённую часть ствола.
- в патроннике устанавливается пороховой заряд.

Когда ударник разбивает капсулу происходит выстрел. Мастер-пуансон срезает чеку, приобретает определённую скорость и деформирует заготовку. Характерная особенность ВТВП заключается в том, что при этом достигается мелкозернистая структура и однородная структура по размеру зерна, которая сохраняется после медленного охлаждения. Повышенное сопротивление деформированию объясняется разностью упругой и пластичной волн в металле. Высокая скорость деформации вызывает резкое повышение температуры в зоне деформации. При этом теплота не успевает распространяться по всему объёму и локализуется в определённых зонах. Это способствует местному снижению сопротивления деформированию, за счет чего происходит деформация.

Все эти преимущества позволяют штамповать полости из высоколегированных сталей диаметром до 130 мм с $\lambda=1,5\div 2,0$. Для увеличения размеров выдавливаемой полости и повышения точности ориентации заготовки относительно мастер-пуансона используют промежуточные переходники.

Инструментом для импульсного выдавливания

Инструментом для импульсного выдавливания служит специальная изготовленные бойки имеющие направляющую и рабочую части. Конструктивно они могут быть цельными и составными. Цельные бойки могут быть

изготовлены из сталей 9ХС, ХВГ, 4Х5МФС, 4Х5В2ФС с твёрдостью после обработки $48\div 52\text{ HRC}_3$.

Расчёт исполнительных размеров мастер-пуансона производится по размерам изделия с учётом качества точности и температурой усадки.

Характеристики процесса высокоскоростного выдавливания

Заготовки имеют форму цилиндров. С целью облегчения процессов формообразования они могут быть ступенчатыми, иметь облегчающие камеры. Выбор температуры и режима нагрева определяются механическими свойствами деформируемого материала, его температурно-скоростными интерваламиковки, необходимостью совмещения процессов выравнивания с термической обработкой, энергетическими возможностями походной установки, стойкостью мастер -пуансона.

Для неглубоких полостей кузнечных, чеканных, гибочных штампов, изготавливаемых из сталей У10А, 5ХНМ, 7ХЗ температура деформирования рекомендуется $600\div 800^\circ\text{C}$, для полостей средней глубины $800\div 1000^\circ\text{C}$, для высоколегированных 3Х2В8Ф; 4Х5В2ФС не ниже 900°C , для стали Х12М температура 1000°C . Полости могут быть получены симметричными и не симметричными среди них могут быть полости круглые в плане и вытянутые в плане.

Оборудование используемое при высокоскоростном выдавливании приведено в таблице 4.2

Таблица 4.2 Специальные методы выдавливания технологической оснастки.

Метод	Изготовления детали	Скорость перемеще- ния мастер- пуансона, мм/с	Темпера- тура, °С	Тип оборудо-вания
Выдавливание в нагретых заготовках:				
тёплое	гравюры штампов	до 0,5	200	гидравлический пресс
полугорячее	пресс-формы и штампы	5-10 100-150	500÷800	гидравлический универсальный КШП
горячее	гравюры штампов	100-600 500-1500	1100-900	штамп. молот винт. пресс
Специальные методы выдавливания :				
гидростатич.	пуансоны профильные матрицы	5-10	20	гидравлический универсальный
сверхпластич.	гравюры штампы	0,2÷0,5	600÷800	гидравлический универсальный
горячее гидростатич.	Профильные матрицы	100÷150	1000-900	кривошипный
высокоскорос- тн. на молотах	пуансоны, гравюры, штампы	$(10-250) \cdot 10^3$	1000-900	высокоскоростн. молот
высокоскорос- тн. на копрах	пресс-формы штампы	$(10 \div 250) \cdot 10^3$	1000-900	пороховой копёр

4.6. Оценка силовых условий выдавливания полостей.

Силловые условия процессов выдавливания полостей штампов и пресс-форм в основном зависят от механических свойств деформируемого материала, геометрических параметров деформирования (глубины и формы полости, размеров заготовки, наличия в ней облегчающих камер), способа выдавливания, условий на контактной поверхности. Потребную силу при выдавливании полостей технологической оснастки определяют по формуле

$$P=f(\sigma, \varepsilon, a, b, \mu) \quad (4.2)$$

В общем виде:

$$P=p \cdot f \cdot R_o. \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

где p - давление пуансона.

f - наименьшая площадь контакта

R_o - коэффициент, учитывающий наличие облегчающей камеры.

Давление при внедрении цилиндрического пуансона с плоским или сферическим торцом для осевого закрытого выдавливания можно определить

$$P = \left[\left(0,95 + \mu \frac{2h_i}{d} \right) (\eta - u) + 0,67 \sigma_T + \left(6,71 \cdot L n \cdot R + \frac{7,85}{R} - 8,6 \right) \eta + (7,16 + 7,85 L n R - 6,71 R) u \right] \quad (4.4)$$

где n - коэффициент, учитывающий форму пуансона.

для сферического :

$$n = \frac{4 \cdot (h \cdot d - h^2)}{d^2} \quad (4.5)$$

h - глубина внедрения, мм

d - диаметр пуансона, мм

μ - коэффициент контактного трения

h_1 - глубина полости, мм

$$\eta = \left(\sigma_i \right)_{np} - \frac{C \left(R - \exp \varepsilon_i \right)}{(R - 1) \exp \varepsilon_i};$$

$$U = \frac{C \cdot (\exp \varepsilon_i' - 1)}{(R - 1) \exp \varepsilon_i'} \quad (4.6)$$

R - относительный радиус внешней границы очага пластической деформации.

Для пуансона с плоским торцом :

$$R = 5,6 - 2,7 \exp \frac{-2h}{d} \dots (4.7)$$

со сферическим :

$$R = 5,6 - 2,7 \exp \frac{-0,6h}{d \cdot \sqrt{\frac{h}{d} - \left(\frac{h}{d}\right)^2}} \dots (4.8)$$

при $0 < h \leq 0,5d$

$$\text{При } h \geq 0,5d \quad R = 5,6 - 2,7 \exp \frac{-1,2h}{d} \quad (4.9)$$

Здесь ε_i - средняя интенсивность деформации на поверхности;