

Процесс холодной высокоточной штамповки



"NET-SHAPE" («точное соблюдение заданной конфигурации») - технология японской компании NICHIDAI CORPORATION - является идеальной для формовки компонентов, исключая необходимость их обработки методом резания. Технология предусматривает использование объемной штамповочной матрицы, которая придает детали необходимую конфигурацию за один технологический цикл продолжительностью до 3 секунд. Внедрение данной технологии - революция в области производства штампованных деталей.

Благодаря компьютерному моделированию всего процесса - начиная от расчетов и заканчивая изготовлением штампов - удается добиться точного изготовления деталей в соответствии с чертежами. А используемое при штамповке противодавление позволяет максимально точно воспроизвести заданную форму. При этом исключаются многие трудоемкие и энергоемкие процессы. Например, при изготовлении конических шестерен по технологии "NET-SHAPE" отпадает необходимость не только в механической обработке зубьев, но и в дополнительном упрочнении шестерни - твердость на поверхности достаточна за счет наклепа.

В Японии процесс высокоточной объемной штамповки используется достаточно широко для изготовления автокомпонентов - деталей двигателя, трансмиссии, в частности холодной штамповкой изготавливаются многие конические шестерни, крестовины и т.п. детали.

Точная объемная штамповка изделий из алюминия и стали, главным образом при использовании технологии штампования в закрытых штампах.

Хиодзи ЙОСИМУРА, Кацухиса ТАНАКА и Чан Чин ВАНГ Корпорация «НИЧИДАИ», Такиги, Киотанабе, Киото 610-0341, Япония

Краткий обзор

Данная презентация посвящена развитию технологии штамповки в закрытых штампах и ее применению при штамповке автомобильных частей из сплава стали и алюминия. В ней также освещается вопрос использования противодавления в целях достижения формы изделия, приближенной к заданной, при штамповке завитков воздушного компрессора.

Ключевые термины: Штамповка в закрытых штампах, точная штамповка, штамповка с использованием противодавления и завитки воздушного компрессора.

1. Введение

Развитие технологии пластичности, в том числе методов холодной штамповки, сделали автомобильную промышленность Японии одной из наиболее конкурентоспособных на рынке. Годовое производство автомобилей в Японии значительно увеличилось в 60-е годы. Массовое производство стали холодной штамповки было налажено производителями болтов после введения в эксплуатацию в Японии прессов Maupres. На начальном этапе, снижение затрат на производство достаточно простых изделий, таких как шпильки с шаровым наконечником, было достигнуто, в основном, за счет замены традиционного способа машинной обработки на холодную штамповку. Впоследствии технология холодной штамповки стала применяться для производства изделий большего размера, таких как изделия чашеобразной формы, шлицевых валов, валов заднего моста и т.д.

В 70-х годах прошлого века с наступлением энергетического кризиса активно проводятся исследования, направленные на повышение коэффициента использования материалов, снижение энергозатрат на штамповку, замену процессов машинной обработки на высокоточную штамповку. Кроме того, с обострением таких проблем как негативное воздействие процесса штамповки на окружающую среду и повышение среднего возраста квалифицированных рабочих, возрастает необходимость в снижении уровня шума, снижении вибрации и повышении автоматизации штамповочного оборудования.

С 1971 года группа ученых во главе с автором данного доклада проводит различные исследования в поисках оптимального процесса от заготовки до

готового изделия (1). Одной из технологий, которой уделяется особое внимание, является «штамповка в закрытых штампах». Был проведен ряд фундаментальных исследований, таких как анализ процесса штамповки в закрытых штампах с пластилином. В 1974 году был разработан 450-тонный многопуансонный гидравлический пресс. На том же прессе были проведены испытания по штамповке и проведена работа по выработке технологий для массового производства (2).

Конечной целью технологии штамповки в закрытых штампах является повышение коэффициента использования материала путем разработки оптимального процесса, не предусматривающего отхода материала в заусенец, снижение нагрузки при штамповке путем контроля деформации в необходимых направлениях в целях экономии электроэнергии, а также повышение автоматизации процесса штамповки, что позволит снизить потребность в квалифицированных рабочих. В последнее время штамповка в закрытых штампах стала основной технологией, используемой для точной объемной штамповки таких изделий как шарниры равных угловых скоростей (ШРУС), конические зубчатые колеса и др.

Данная презентация посвящена разработке оборудования штамповки в закрытых штампах. Кроме того, в ней приводятся, некоторые примеры точной штамповки изделий из сплавов стали и алюминия.

2. Штамповка в закрытых штампах

Штамповка в закрытых штампах предусматривает использование универсального ползуна в качестве пуансонов для выдавливания материала в предварительно закрытую матрицу для заполнения ее рабочего пространства (Рис. 1). Управляя ходом ползунов можно осуществлять контроль за течением металла для достижения оптимальной деформации. Ход ползунов верхнего и нижнего пуансонов может задаваться в режиме синхронный, асинхронный (Рис. 2) и с противодавлением (Рис. 3) в целях значительного снижения формирующей нагрузки либо повышения качества заполнения рабочего пространства матрицы материалом.

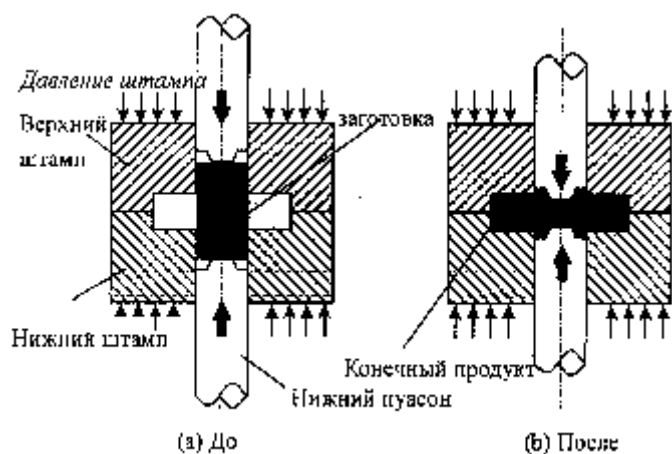


Рис. 1 Метод штампования в закрытых штампах.

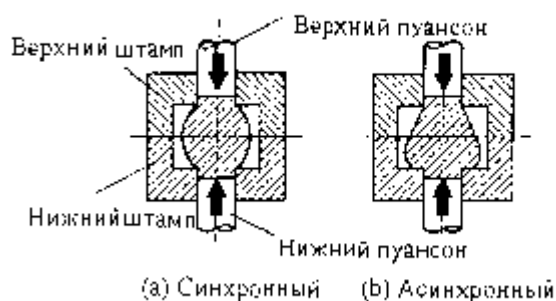


Рис 2 Синхронный и асинхронный поступательные движения

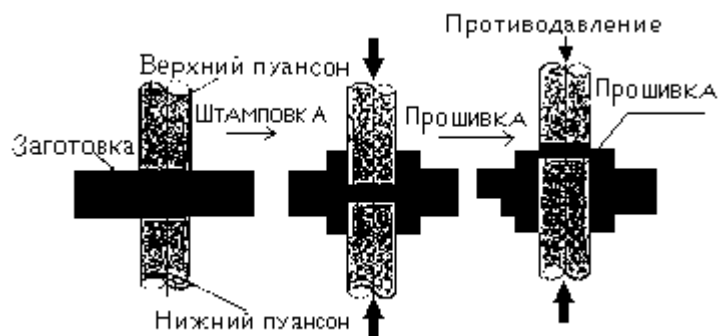


Рис 3 Пример использования противодавления

3. Разработка автоматизированного трехцилиндрового гидравлического прессы для штамповки в закрытых штампах

Несмотря на то, что оптимальные условия штамповки можно определить посредством проведения фундаментального эксперимента с пластилином, в конечном счете, необходимо проведение практического тестирования. В этих целях корпорация «Ничидаи» разработала автоматизированные трехцилиндровый гидравлический пресс для штамповки в закрытых штампах (3). Данный пресс способен проводить практическое тестирование. Положение, скорость и давление верхнего и нижнего пуансонов прессы могут

устанавливаться индивидуально. Кроме того, заданные данные могут быть сохранены в памяти компьютера и в дальнейшем использованы для моделирования хода.

Таблица 1 Спецификация трехцилиндрового гидравлического прессы.

	Главный ползун	Средний ползун	Нижний ползун
Номинальное усилие / кН	80	40	40
Ход / мм	500	200	200
Расстояние между буфером и ползуном / мм	900	-	
Ползун / мм	900 X 900	Ф300	ф300
Платформа / мм	900 X 900	-	-
Скорость быстрого подхода мм / с е к .	~300	~20	~20
Рабочая скорость мм / сек.	/ ~20	~20	~20
Скорость обратного хода/мм / сек.	~ 150	~ 150	~ 150
Усилие реакции кН	/ 6	4	4

4. Разработка комплектов штампов для штамповки в закрытых штампах.

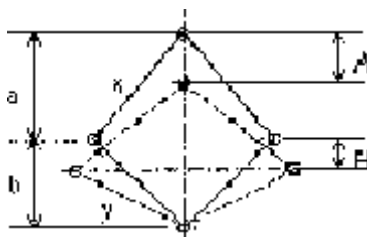
4.1 Специальные комплекты штампов для штамповки в закрытых штампах

После того как была признана эффективность штамповки в закрытых штампах, многие компании стали применять специальные прессы,

работающие на принципе штамповки в закрытых штампах, в целях массового производства штамповальной продукции. Тем не менее, ввиду низкой производительности гидравлических прессов, необходимость в использовании высокоскоростных механических прессов при штамповке в закрытых штампах становилась все сильнее.

В Японии компании «Аида» и «Коматсу» разработали простейшие комплекты штампов для штамповки в закрытых штампах для механических прессов. В комплектах штампов компании «Аида» используется кулачковый механизм, а в комплекте штампов компании «Коматсу» используется механизм реечной передачи. Эти разработки ускорили применение технологии штамповки в закрытых штампах. В 1988 году компания

«Ничидаи» также разработала новый тип комплекта штампов для штамповки в закрытых штампах, в котором использовался пантографический механизм, и расширила применение технологии штамповки в закрытых штампах на высокоточное производство конических дифференциалов и т.д.



4.2. Закрывающее давление штампа

Закрывающее давление штампа создается гидроагрегатом, аккумулятором и цилиндрами, встроенными в комплект штампов в то же время цикла механического пресса. Облой или стружка могут образовываться в линии разъема между поверхностями верхнего и нижнего штампов при слишком низком уровне давления.

4.3 Синхронный и асинхронный ход пуансонов

Когда заготовка, расположенная в полости штампа, прессуется верхним и нижним пуансонами, деформация материала может варьироваться в зависимости от соотношения скоростей верхнего и нижнего пуансонов, как показано на Рис. 2 и Рис. 4.

Симметричные изделия, такие как крестообразные цапфы, формируются в режиме синхронного хода. Асимметричные изделия, такие как конические шестерни, формируются в режиме асинхронного хода. На Рис. 5 и Рис. 6 показано, как происходит синхронный и асинхронный ход за счет комплекта штампов с пантографическим механизмом.

Зависимость между x , y , a , b , A и B :

$$x^2 - y^2 = y^2 - b^2$$

$$x^2 (a + A + B)^2 = y^2 - (b - B)^2 \quad \text{Из вышеуказанных уравнений определяем:}$$

$$B = (aA - 0.5A^2) / (a + b - A)$$

В соответствии с полученным результатом.

если соотношение скоростей 1:1, т.е. $A = 2B$, тогда $b = a$

если соотношение скоростей 2:1, т.е. $A = 3B$, тогда

A=

Рис. 4 Отношение скоростей между верхним и нижним пуансонами.

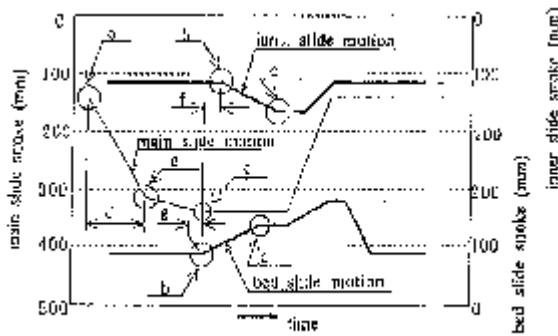


Рис. 5 Комплект штампа с пантографическим механизмом.

(гидравлический цилиндр, пантограф, средняя пластина, гидравлический цилиндр, верхний штамп, нижний штамп, гидродинамическое давление).

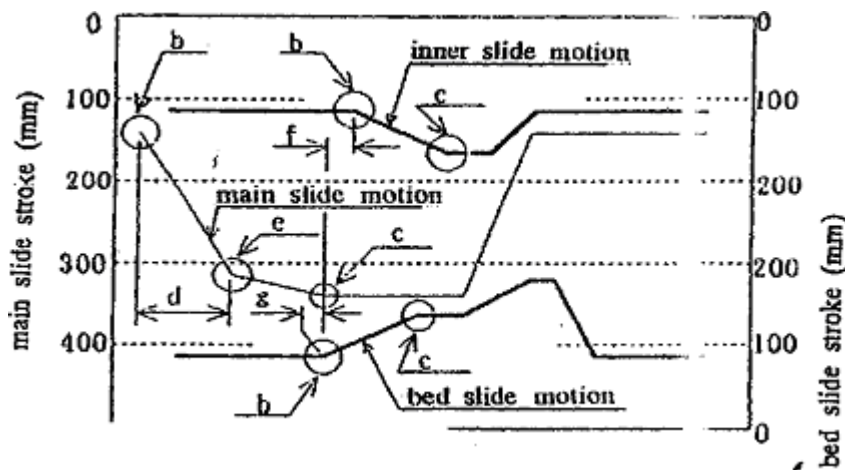


Рис. 6 Пример работы прессы.

5. Примеры стальных частей, полученных путем штамповки в закрытых штампах.

5.1 Детали, изготавливаемые методом ортогональной экструзии.

(1) Крестообразные цапфы

Крестообразные цапфы (Рис. 7) являются типичным примером нерпою поколения продукции, производимой штамповкой в закрытых штампах. Результатом перехода в 1975 году от традиционной горячей штамповки к штамповке в закрытых штампах при производстве крестообразных цапф карданных валов явились значительная экономия материала, автоматизация процесса штамповки. Кроме того, отпала необходимость в дополнительной обработке изделий после механической обработки. Рис. 7 Крестообразные цапфы.

(2) ШРУСы типа «Трипод»

Массовое производство триподов с помощью технологии штамповки в закрытых штампах, опробованной в производстве крестовых цапф, было

незамедлительно налажено, когда японские производители автомобилей начали разработку ШРУСов для автомобилей типа FF. При разработке технологического процесса производства крестовых цапф испытания проводились с пластилином. Однако разработка метода применения технологии штамповки в закрытых штампах для производства триподов осуществлялась с помощью компьютерного моделирования формовочного процесса, что стало возможным благодаря созданию средств автоматизированного моделирования

5.1 Детали, изготавливаемые методом ортогональной экструзии.

(1) Крестообразные цапфы

Крестообразные цапфы (Рис. 7) являются типичным примером нерпоу поколения продукции, производимой штамповкой в закрытых штампах. Результатом перехода в 1975 году от традиционной горячей штамповки к штамповке в закрытых штампах при производстве крестообразных цапф карданных валов явились значительная экономия материала, автоматизация процесса штамповки. Кроме того отпала необходимость в дополнительной обработке изделий после механической обработки.



Рис. 7 Крестообразные цапфы

(2) ШРУСы типа «Трипод»

Массовое производство триподов с помощью технологии штамповки в закрытых штампах, опробованной в производстве крестовых цапф, были незамедлительно налажено, когда японские производители автомобилей начали разработку ШРУСов для автомобилей типа FF. При разработке технологического процесса производства крестовых цапф испытания проводились с пластилином. Однако разработка метода применения технологии штамповки в закрытых штампах для производства триподов осуществлялась с помощью компьютерного моделирования формовочного процесса, что стало возможным благодаря созданию средств автоматизированного моделирования.

5.2 Детали, изготавливаемые методом выдавливания

(1) ШРУС Внутреннее кольцо (Рис. 8)

Как и триподы, внутренние кольца также являются разновидностью ШРУСов. Они производятся методом штамповки в закрытых штампах с точностью,

близкой к заданной, и в больших количествах.



Рис. 8 Внутренние кольца, изготовленные методом штамповки в закрытых штампах.

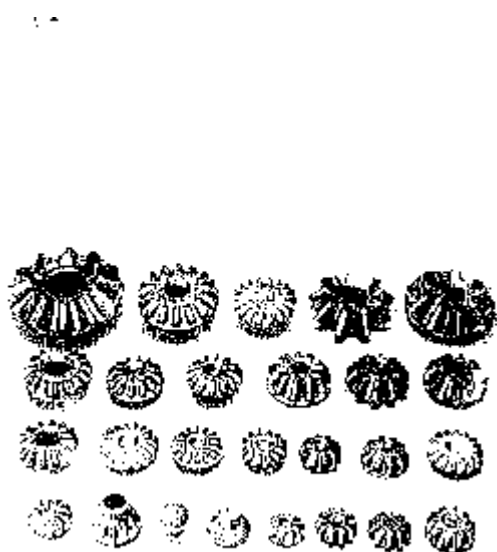


Рис. 9 Конические шестерни, изготовленные методом штамповки в закрытых штампах.

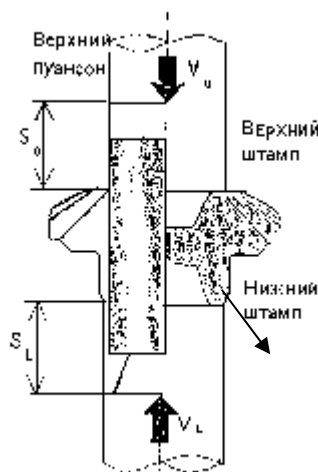


Рис.10 Схема механической обработки при штамповке конической шестерни

(2) Конические шестерни

Конические шестерни (Рис. 9) с давних времен изготавливались комбинированным методом горячей штамповки и холоднойковки. Они использовались в сельскохозяйственных машинах и мотоциклах. Массовое производство конических шестерен путем штамповки в закрытых штампах началось с 1980 года, а их применение в грузовых и легковых автомобилях стало быстро увеличиваться несколькими годами ранее. Это было частично обусловлено развитием формообразующих технологий, а также разработкой комплектов штампов для штамповки в закрытых штампах. Однако основной

причиной, скорее всего, стало появление возможности производить штампы с высокой точностью и продолжительным сроком службы, что позволило производить конические шестерни с точностью и в количестве, удовлетворяющих потребности автомобильной промышленности.

На Рис. 10 показан пример конструкции штампа для изготовления конических шестерен. В результате проведения серии тестов (Таблица 2) было установлено оптимальное соотношение скоростей верхнего и нижнего пуансонов. В данном случае, оптимальное соотношение скоростей оказалось следующим: 1,5:1.

Таблица 2. Влияние соотношения скоростей на штамповку конических шестерен в закрытых штампах

Соотноше- ние скоростей	На- груз- ка	Течение металла	Напол- нение штампа	Трещины	Общая оценка
3:1	0	Л	Х	А	Х
2:1	А	Л	А	А	А
1.5:1	0	0	А	А	0
1:1	О	Л	А	А	А
1:2	Л	А	0	Х	Х
0:1	Х	Х	О	А	Х

[Примечания] О : хорошо А : удовлетворительно Х : плохо

5.3 Части, изготавливаемые штамповкой с применением противодавления

Создавая оптимальное дополнительное давление в направлении течения металла или в противоположном направлении, можно добиться того, что материалы, считающиеся нековкими, становятся ковкими. Разработку данных формовочных методов автор осуществлял совместно с производителями автомобилей. Ниже приводятся несколько примеров. (1) (1) *Головка шатуна*
Процесс штамповки головки шатуна для автомобильной промышленности. Были проведены испытания процесса штамповки в один этап от трубной заготовки до готового продукта. Хотя массовое производство еще не налажено, его можно осуществлять на механических прессах при определенной доработки конструкции комплекта штампов. Также возможно осуществлять точную штамповку деталей еще более сложной формы, если внести определенные изменения в ход пресса и в конструкцию штампа.

(2) *Тюльпанообразные валы ШРУСа*

Кроме того, была предпринята попытка разработать метод штамповки тюльпанообразных валов в закрытых штампах (4). В то время как прутковая заготовка прессуется в тройной патрубок при относительно невысокой

температуре, используют противодействие для того, чтобы получить большее сечение детали, чем размер входной зоны штампа. Данный процесс не использовался для массового производства по причине малого срока эксплуатации специальных гидравлических прессов, используемых при штамповке в закрытых штампах. Тем не менее, массовое производство возможно, если при штамповке в закрытых штампах использовать упрощенный комплект штампов, о котором говорилось выше.

6. Особенности штамповки в закрытых штампах

Как показано выше, за счет управления ходом верхнего и нижнего пуансонов, можно создать оптимальные условия для штамповки в закрытых штампах. Массовое производство изделий, требующих высокой точности либо точности, близкой к заданным параметрам формы, при минимальных затратах можно осуществлять методами штамповки в закрытых штампах. Можно выделить следующие особенности штамповки в закрытых штампах:

(1) Формование без отхода в облой

- Повышает коэффициент использования материала и, как результат, приводит к снижению расходов на материал.
- Уменьшает формирующую нагрузку, что позволяет уменьшить размеры штамповальных станков и снизить энергозатраты.
- Облегчает наполнение штампа, что позволяет продлить срок его эксплуатации.

(2) Ортогональная экструзия и формование выдавливанием

- Сложные формы: крестовые цапфы, конические шестерни.
- Высокоточное формование: малый зазор между поверхностями верхнего и нижнего штампов.
- Управление течением металла: повышает прочность изделий.

(3) Выбор режима хода пуансона

- Возможность синхронного, асинхронного хода в целях осуществления пластической деформации слева направо и сверху вниз.
- Использование противодействия при изготовлении сложных форм, а также при обработке материалов с высоким сопротивлением усилию формования.
- Экструзия при поэтапном ходе главного ползуна с использованием дополнительного давления.

До сегодняшнего дня в технологиях штампования в закрытых штампах основное внимание уделялось ходам верхнего и нижнего пуансонов. Однако для изготовления продуктов более сложной формы необходимо исследовать и другие факторы.

7. Недавние исследования штампования в закрытых штампах с использованием контейнера с аксиальным приводом.

Было проведено практическое исследование с целью определения влияния использования контейнера с аксиальным приводом (5) на точность штамповки.

За счет гидроустановки контейнеру сообщаются различные виды колебательных движений в ходе процесса штампования. Колебания регулируются по амплитуде, времени и цикличности.

Результаты тестов, в ходе которых осуществлялось сравнение традиционного метода с данным методом, указывают на значительные улучшения показателей точности получаемых изделий и давления формования. Тем не менее, существует необходимость в проведении качественных дальнейших исследований по выявлению влияния размеров продукта и факторов рабочего режима, таких как смазка и метод наладки. Данный научно-исследовательский проект осуществляется компанией «Ничидаи» совместно с группой ученых под руководством профессора Осакада (Университет г. Осака) при поддержке Японского агентства поддержки малых и средних предприятий.

8. Технология штамповки изделий из алюминия.

8.1 Общие примеры штамповки изделий из алюминия.

Алюминиевые сплавы давно применяются при изготовлении автомобилей и самолетов благодаря их особым свойствам.

А) Шатуны для универсальных двигателей

Шатуны для небольших универсальных двигателей изготавливаются из алюминия путем штампования. В целях экономии материала в начале изготавливаются заготовки с помощью ковочных вальцов. После проверки на предмет наличия на заготовках трещин они снова нагреваются и штамуются при комнатной температуре на ковочном штампе.

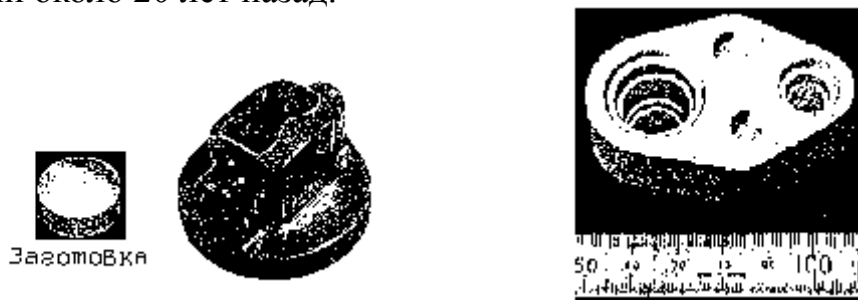
В) Основные штампованные алюминиевые детали, используемые в авиационной промышленности.

Штампование изделий из алюминия для авиационной промышленности требует высокого качества алюминиевых материалов и обеспечения высокой точности течения металла. При изготовлении деталей методом штампования необходимо обеспечить тщательный контроль. Кроме того, предъявляются строгие требования к условиям термической обработки и проверке на наличие поверхностных трещин. Штампование изделий из алюминия требует применение самых передовых технологий. С точки зрения долгосрочной перспективы необходимо инвестировать средства в разработку высокотехнологичного оборудования, используемого для производства

узкоспециализированной продукции.

С) Алюминиевые изделия, полученные штамповкой с нулевым углом зазора, используемые в самолетостроении.

Среди прочих алюминиевых изделий, используемых в самолетостроении, изделия, производимые штамповкой с нулевым зазором, где необходимо применение специальных передовых технологий, начали производиться в Японии около 20 лет назад.



а) Корпус ресивера

б) Головка ресивера

Рис. 11 Корпус и передняя часть ресивера.

Д) Алюминиевые изделия, произведенные методом холодного штампования, используемые в кондиционерах.

Части ресивера (Рис. 11) кондиционеров прошли тестирование и введены в массовое производство 25 лет назад. Корпус ресивера с глубоким вырезом был изготовлен путем простой штамповки ударным выдавливанием. Трещины появились на нижней стороне внешней поверхности изделия ввиду неоднородного кристаллического зерна у поверхности материала той же партии.

В тоже время, наконечники ресиверов были изготовлены путем холодной штамповки вместе с нарезной частью, которая позже прошла механическую доработку. Затраты на производство значительно сократились после внесения изменений в данную конструкцию. Эта технология и сегодня все еще используется в некоторых компаниях.

8.2 Снижение затрат при холодной штамповке за счет использования заготовок неправильной формы.

При штамповке алюминия общие затраты могут быть снижены за счет использования заготовок неправильной формы, которые получают путем распиливания пруткового материала неправильной формы. Этот метод особенно эффективен при производстве изделий сложной формы, требующих проведение многоэтапных формовочных процессов.

8.3 Формовка запирающих устройств методом комбинирования отливки и штампования

Горячая штамповка применяется при изготовлении запирающих устройств (Рис. 13), используемых в двигателях легковых автомобилей. Имеется

информация о том, что в целях снижения затрат горячей штамповке подвергались детали, изготовленные методом свободной заливки форм (т.е. комбинацией отливки и штампования). Компания «Ничидаи» участвовала в производстве штампа и разработке метода формовки. Полагаю важным продолжать разработку данной технологии.

8.4 Испытания велосипедных деталей, изготовленных с помощью разъемной матрицы.

При производстве сложных алюминиевых изделий методом штамповки иногда используют разъемную матрицу. Пример такого изделия приведен на Рис. 14. Горловинная часть, расположенная в центре данной детали, отштампована с помощью разъемной матрицы. Оба конца детали изготавливаются методом штамповки в закрытых штампах одновременным воздействием сверху и снизу, либо могут штамповаться по очереди.



Рис. 13 Запирающее устройство,

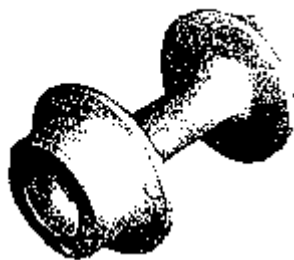


Рис. 14 Алюминиевая деталь велосипеда изготовленная методом штамповки.

(4) Особенности спиральных камер, изготовленных методом штамповки в закрытых штампах

Особенности спиральных камер, изготовленных методом штамповки в закрытых штампах, можно определить следующим образом

- Однородная и плоская поверхность обмотки - приводит к снижению затрат на механическую обработку и к экономии материала.
- Нулевой угол зазора - приводит к снижению затрат на механическую обработку и к экономии материала.
- Отсутствие внутренних полостей - повышается производительность.
- Повышение усталостной прочности - возможность использования с газом нового типа - фреоном.

Благодаря этим преимуществам, применения формовочного метода без сомнений будет расширяться.

9. Заключение

Современный уровень развития методов штамповки в закрытых штампах позволяет широко применять их в производстве изделий из стали и алюминия. Высокоточная штамповка с применением технологии штамповки в закрытых штампах, которая была внедрена относительно недавно, обладает хорошими перспективами. Она применяется как при горячей, так и холодной штамповке. Ее применение при теплой штамповке в закрытых штампах с использованием упрощенных комплектов штампов также растет. Методом штамповки в закрытых штампах изготавливаются детали все большего размера. Кроме того, эта технология находит все более широкое применение не только в автомобильной, но и в других отраслях промышленности.

Нет никаких сомнений в том, что научно-исследовательская работа в отношении конструкции штампа, формирующих условия, технологии производства штампов и т.п. будет продолжена. Разработчики изделий и инженеры, проектирующие конструкции штампов, должны работать совместно с тем, чтобы получить новые изделия с гораздо более высокими техническими характеристиками за счет применения технологий штамповки в закрытых штампах.

Источники

- (1) Y. Iwasaki, H. Yoshimura: MHI Technical Report, 12-5,1975.
- (2) H. Yoshimura, S. Shimasaki: Journal of the JSTP, 24,1983.
- (3) M. Nakamura, T. Koga: Kurimoto Technical Report, 1994.
- (4) A. Ishii, H. Koshimaru: Journal of the JSTP, 22-241,1981.
- (5) K. Osakada, X. Wang & S Hanami, WIRE, 6(1997), стр. 24-29.