

ПРОГРЕССИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ШТАМПОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОКОВОК

Б.А. Степанов, В.С. Тимохин, А.Е. Максименко



**СТЕПАНОВ
Борис
Алексеевич**

Профессор, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Естественные и технические науки» Московского Государственного Индустриального Университета (МГИУ). Основной научный интерес – разработка и исследование специализированного кузнечно-прессового оборудования. Автор более 150 научных работ, в том числе 70 изобретений.

Введение

Современные тенденции в развитии машиностроения направлены на рост единичной мощности машин и связанное с этим увеличение размеров обрабатываемых деталей. Одновременно ставится задача снижения материалоемкости машиностроительной продукции, что достигается утонением деталей с одновременным улучшением их характеристик. Таким образом, в ряд актуальных выдвигается задача получения крупногабаритных тонкостенных деталей, обладающих высокими эксплуатационными свойствами, что



**ТИМОХИН
Виктор
Сергеевич**

Доцент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» МГИУ, кандидат технических наук. Специалист в области кузнечно-прессового производства. Автор 10 научных работ, в том числе трех изобретений.



**Максименко
Александр
Егорович**

Доцент кафедры «Машины и технологии обработки металлов давлением» МГИУ, кандидат технических наук. Специалист в области кузнечно-прессового производства. Автор 19 научных работ, в том числе двух изобретений.

обуславливает ряд технологических трудностей. Прежде всего это высокие давления при деформации металла, для создания которых требуются прессы все больших номинальных сил, а также низкая стойкость штампов из обычно используемых инструментальных сталей. Применение же специальных сталей удорожает себестоимость изделий.

Особое место в номенклатуре горячештамповочных поковок занимают осесимметричные или круглые в плане поковки типа дисков, колес, тонкостенных стаканов различной формы и т.п. (рис. 1). Так, в автомобилестроении доля таких поковок составляет 30 %, в станкостроении до 40 %, на некоторых предприятиях инструментальной промышленности и заводов по производству железнодорожных, шахтных и крановых колес 100 %.

Ческим кривошипно-ползунным исполнительным механизмом. Совершенствование КГШП в направлении повышения жесткости прессов и уменьшения перекосов ползуна при эксцентричных нагрузках привело к созданию прессов с главным исполнительным механизмом клинового типа и кривошипно-кулисным механизмом.

Существующие технологии

К типовым представителям крупногабаритных тонкостенных поковок, вызывающим наибольшие трудности при штамповке, относятся поковки ведомых шестерен заднего моста грузовых автомобилей. Основные характеристики и размеры поковок типа "шестерня ведомая" автомобилей ЗиЛ, КаМАЗ и ГАЗ представлены на рис. 2-3, а также в табл.1 и 2.

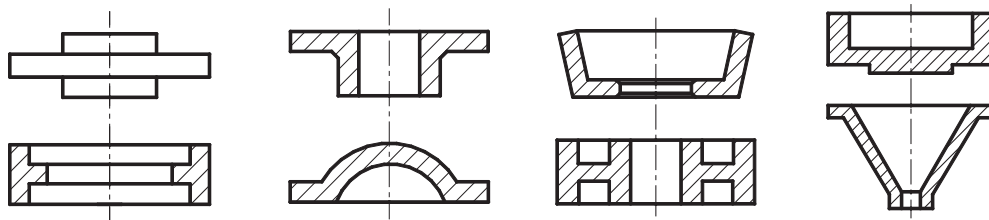


Рис. 1. Типовые осесимметричные поковки:

а) диски и ступицы; б) фланцы и крышки; в) зубчатые колеса и шестерни; г) корпуса и облицовки

Осесимметричные поковки изготавливаются осадкой в торец за 1-3 и более переходов в зависимости от размеров, конфигурации и отношения наружного диаметра поковки D к толщине диска H (D/H). Штамповка осуществляется в открытых или закрытых штампах на универсальных молотах, винтовых, кривошипных и гидравлических прессах. Наиболее широкое применение в промышленности получили кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП) с класси-

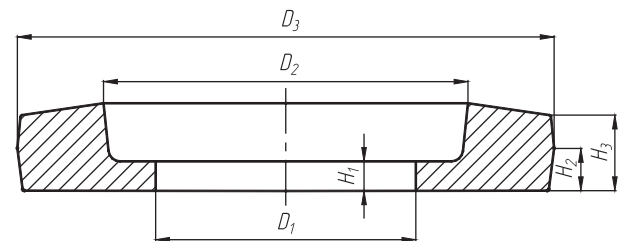


Рис. 2. Эскиз типовой поковки «шестерня коническая ведомая» заднего моста автомобилей ЗиЛ и ГАЗ

Таблица 1

Основные размеры и характеристики типовых поволовок «шестерня коническая ведомая» заднего моста автомобилей ЗиЛ и ГАЗ

№ п/п	Поковка	D_1	D_2	D_3	H_1	H_2	H_3	Масса, кг	Материал
		мм							
1	4331-2402060-20 (ЗиЛ)	266	299	430	26	53	63	43	25ХГТ
2	130Г-2402060 (ЗиЛ)					49,5	60	39	
3	4331-2402060 (ЗиЛ)				26,5	42	56	37,5	25ХГНМТ
4	53-2402060-02 (ГАЗ)	190	250	350	16	49	13,5	54ПП	
5	53-2402060-03 (ГАЗ)	194					39,5		
6	4301-2402060 (ГАЗ)	209	262	375	21	44,5	52		

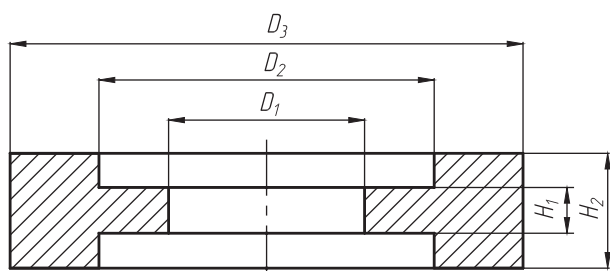


Рис. 3. Эскиз типовой поковки

«Шестерня цилиндрическая ведомая» заднего моста автомобиля КаМАЗ

обрезном прессе силой 6,3 МН производится одновременная обрезка и прошивка.

Технологический процесс изготовления поковок ведомых шестерен на ГАЗе аналогичен принятому на РААЗ. Молотовая штамповка, обеспечивая минимальную себестоимость изготовления поковок, имеет существенные недостатки, заключающиеся в неудовлетворительных санитарно-

Таблица 2

Основные размеры и характеристики типовых поковок
«шестерня цилиндрическая ведомая» заднего моста автомобиля КаМАЗ

№ п/п	Поковка	D_1	D_2	D_3	H_1	H_2	Масса , кг	Материал
		мм						
1	5320-2402120-10	190	264	324	40	76	26,2	25 ХГНМТ
2	5320-2402120-20		—	331		28,6		
3	5320-2402120-30		318	25,97				
4	5320-2402120-40		252	314		69	23,24	

Технологический процесс штамповки поковок ведомых шестерен автомобилей ЗиЛ, изготавливаемых на Рязанском автоагрегатном заводе (РААЗ), осуществляется на паровоздушном молоте с массой падающих частей 10 т. Заготовка Ø150х321 (диаметр-длина), нагретая до температуры 1180-1220 °С, укладывается на окончательный ручей штампа, нагретого до температуры 150 °С. По заготовке наносятся удары до смыкания штампов; количество наносимых ударов составляет не менее 18-20. На

гигиенических условиях производства, высокой трудоемкости, отсутствии средств автоматизации и низкой стойкости штампов. Отмеченные недостатки обусловили перевод штамповки поковок ведомых шестерен с молотовой на прессовую. Участок изготовления поковок включает две автоматизированные линии на базе КГШП силой 40 и 63 МН (рис. 4). На КГШП силой 40 МН осуществляется осадка заготовки, формовка и прошивка; на КГШП силой 63 МН окончательная штамповка и обрезка внутреннего облоя.



Рис. 4. Автоматическая линия по изготовлению поковок

«шестерня ведомая» заднего моста для автомобилей ГАЗ:

1 – индукционный нагреватель; 2, 7 – транспортеры; 3, 8 – загрузчики заготовок; 4 – механизм для смены вставок; 5 – КГШП 40 МН; 6 – устройство для технологической смазки; 9 – КГШП 63 МН

Поковки ведомых шестерен заднего моста автомобиля КаМАЗ изготавливают на автоматической линии, представленной на рис. 5. Вместо штучных заготовок в индукторе 1 нагревают прутки, что сокращает транспортные операции, устраняет сложные устройства для подачи заготовок в нагреватель и не требует предварительного нагрева до 300-450 °С перед резкой на штучные заготовки. Резка прутков, нагретых до температуры 1250 °С, осуществляется на гидравлическом прессе 2 силой 12,5 МН, оснащенном прессножницами силой 1,6 МН; последние связаны с гидроприводом прессы, расположенным на станине и обеспечиваемым тремя электродвигателями мощностью 250 кВт посредством шести насосов производительностью 3000 л/мин. Отрезанные заготовки по склизу подаются к захватам переключника, который переносит их в штамп прессы. На первом переходе исходные заготовки осаживаются бойком, снабженным плавающим кольцом, снижающим асимметрию осаживаемой заготовки. На второй позиции осуществляется формовка поковки до смыкания верхней и нижней матрицы, что обеспечивает точную высоту поковки. На третьем переходе происходит прошивка. Отштампованные поковки попадают на конвейер поочередной подачи к установкам 3 и 4 для загрузки поковок, откуда они скатываются к раскатным станам 5 и 6 с горизонталь-

ными осями рабочих валиков. Установка двух раскатных станов связана с тем, что их производительность в два раза ниже производительности гидравлического прессы силой 12,5 МН. После раскатки поковки по конвейерам поступают к подъемникам 7 и 8 и далее на калибровочный пресс 9, обеспечивающий одинаковые размеры поковок по наружному диаметру. Управление осуществляется с пультов 10 и 11. Длина линии около 100 м, ширина 18,5 м, суммарная площадь 2000 м².

Аналогичный технологический процесс осуществлен фирмой "Коматсу" (Япония) для изготовления поковки массой 66,9 кг (рис. 6).

Проведенный обзор показал, что в автомобилестроительном производстве молотовая штамповка практически вытеснена более совершенными технологиями с использованием кривошипных и гидравлических прессов, а также раскатных станов. Однако модернизация по замене молотовой штамповки ведомых шестерен заднего моста на прессовую требует огромных капитальных затрат. Так, в состав линии с использованием раскатных станов должны входить как минимум три вида оборудования (формовочное, раскатное и калибровочное), при этом раскатных станов, вследствие их малой производительности, требуется как минимум два (КаМАЗ) или три ("Коматсу").

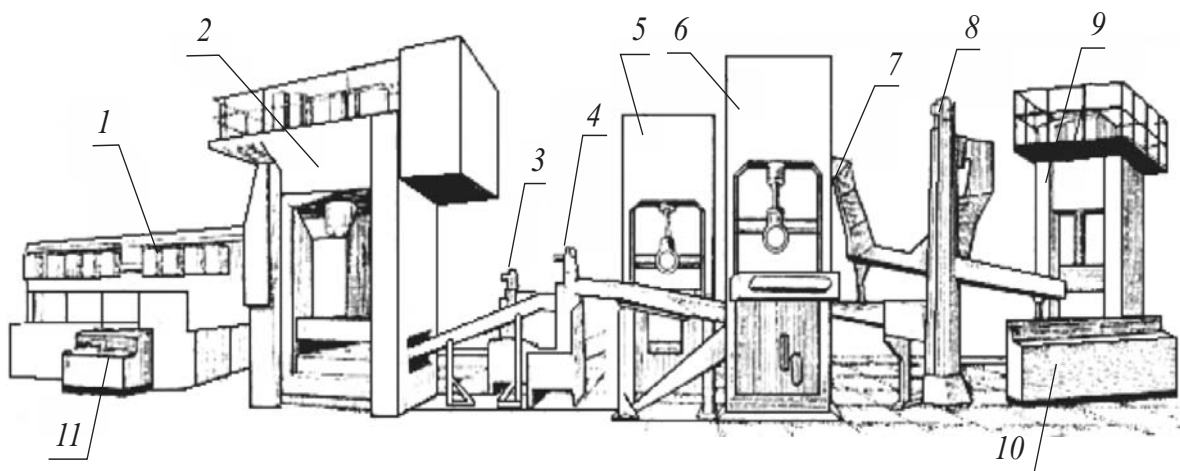


Рис. 5. Автоматическая линия по изготовлению поковок «шестерня ведомая» заднего моста для автомобилей КаМАЗ:

1 — индукционный нагреватель; 2 — гидравлический пресс 12,5 МН; 3, 4 — загрузчики поковок; 5, 6 — раскатные станы; 7, 8 — подъемники; 9 — калибровочный пресс 4 МН; 10, 11 — пульты управления

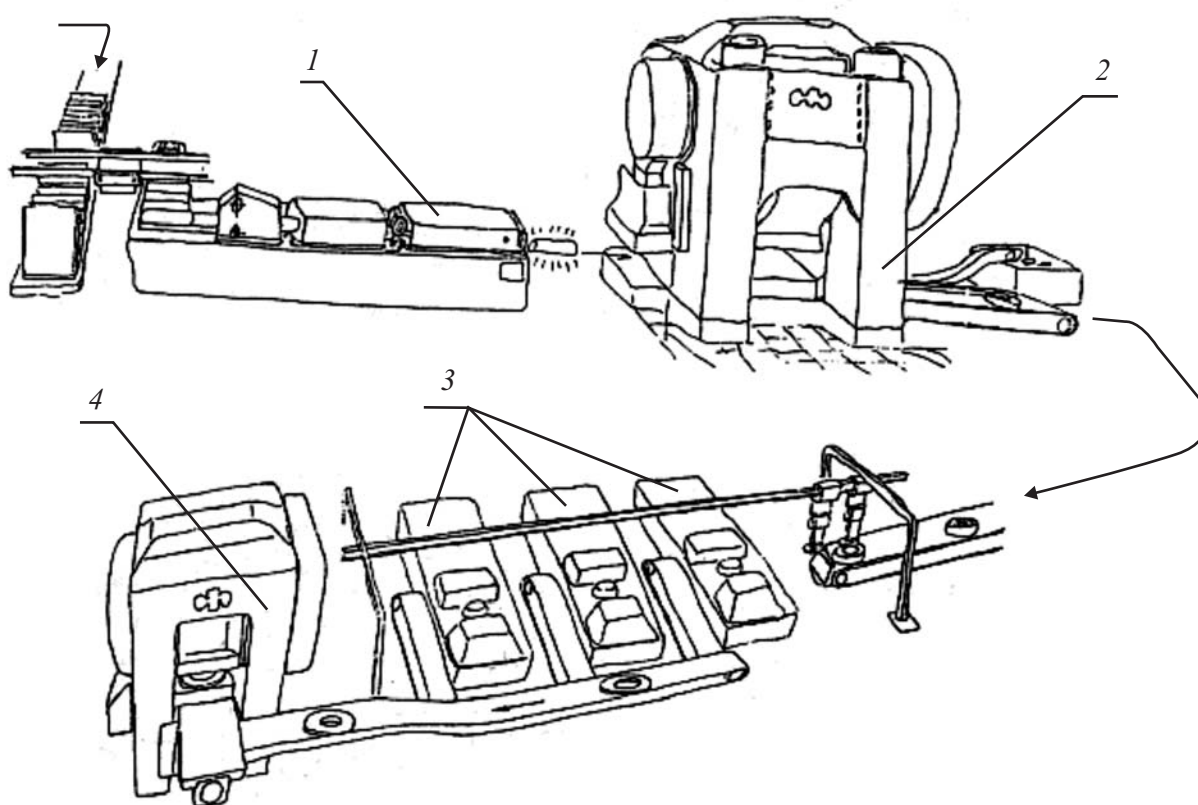


Рис. 6. Автоматическая линия фирмы «Коматсу» (Япония):

1 — индукционный нагреватель; 2 — КГШП 25 МН; 3 — раскатные станы; 4 — калибровочный пресс 6 МН

Штамповка методом осадки с кручением

Формообразование в штампах крупногабаритных поковок с большим отношением D/H связано с рядом технологических трудностей и прежде всего с необходимостью создания большого давления сжатия, многократно превышающим предел текучести σ_s материала (при осевом растяжении) при температуре обработки. При этом резко снижается стойкость штампов и увеличиваются погрешности в размерах штампуемых деталей. Эта особенность пластического течения материала в тонких слоях связана с действием контактных сил трения, влияние которых тем больше, чем больше отношение D/H . Так, при штамповке тонкостенных дисков, например, из среднеуглеродистых сталей ($T=1000^\circ\text{C}$, $\sigma_s=60\text{ МПа}$) с отношением $D/H=30$ среднее давление составляет 400 МПа ($6,8\sigma_s$), а давление в центре штампа примерно в три раза больше, т.е. порядка 1000 МПа. Такие нагрузки весьма значительны даже для луч-

ших штамповых сталей, причем возникают они на первой стадии штамповки, когда пластическое течение в радиальном направлении не ограничено вертикальными стенками. В стадии заполнения металлом углов штампа нагрузки удваиваются.

Актуальная задача получения в штампах крупногабаритных тонкостенных изделий, обладающих высокими эксплуатационными свойствами, наиболее эффективно может быть решена путем снижения технологических сил штамповки, позволяющим в свою очередь увеличить стойкость инструмента и точность получаемых изделий, а также уменьшить капитальные затраты. Для этого вместо традиционных методов штамповки применяются методы комбинированного нагружения.

Для круглых в плане поковок комбинированное нагружение реализуется одновременным воздействием на деформируемую заготовку осевой силы и крутящего момента [1]. Практически такое нагружение осуществляется вра-

щением инструмента во время штамповки заготовки, поэтому этот метод деформирования получил название штамповки методом осадки с кручением. В его основе лежат принципиальные, по сравнению со штамповкой поступательно перемещающимся инструментом, отличия в движении деформируемой среды, заключающиеся в изменении механики контактного взаимодействия инструмента и заготовки и возникновении в объеме металла интенсивных сдвиговых деформаций.

Штамповка с кручением дает возможность существенно снизить силу деформирования. Чем больше отношение D/H , т.е. чем более тонкостенная деталь, тем заметнее проявляются указанные эффекты. Так, при штамповке дисков с отношением $D/H=10-40$ возможно снижение силы деформирования в 25 раз в зависимости от параметра кручения q , определяемого кинематикой инструмента и геометрическими размерами штампуемого изделия [1]:

$$q = \frac{\omega \cdot D}{v \cdot 2\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где ω и v – угловая и поступательная скорости инструмента; D – диаметр поковки.

Практическая реализация штамповки с кручением позволяет не только увеличить размеры поковок, штампуемых на типовых прессах, но и снизить их массу за счет уменьшения перемычек под прошивку, повысить точность изготовления поковок за счет увеличения жесткости системы пресс-штамп и увеличить стойкость штампов. Комбинированное нагружение практически исключает влияние эксцентricности установки заготовки на заполнение металлом штампа и одностороннего его вытекания в боковой зазор штампа и дает, таким образом, новый подход к проектированию и реализации процессов закрытой штамповки [2].

Специальный КГШП с вращающимся штамподержателем

На рис. 7, а представлена кинематическая схема специального КГШП с вращающимся штамподержателем.

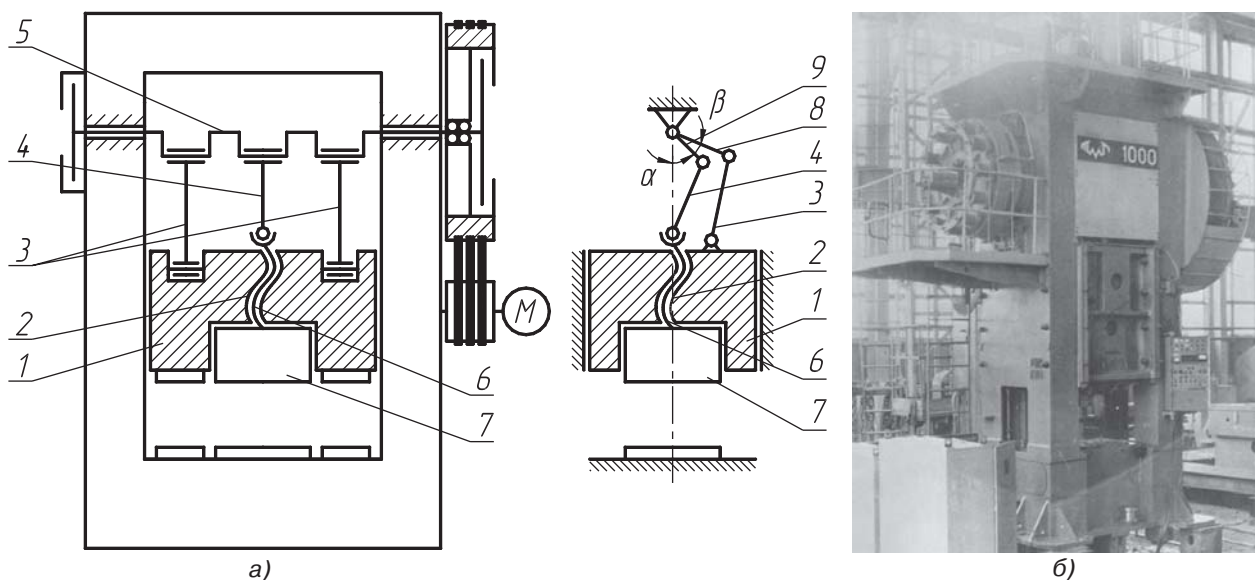


Рис. 7. Кинематическая схема (а) и общий вид (б) специального КГШП силой 10 МН:

- 1 – наружный ползун; 2 – гайка; 3 – боковые шатуны; 4 – центральный шатун; 5 – трехэксцентриковый вал;
6 – винт; 7 – внутренний ползун; 8 – боковые эксцентрики; 9 – центральный эксцентрик;
10 – маховик; 11 – электродвигатель

Трехэксцентриковый вал 5, на консолях которого установлены муфта 8 и тормоз 9, сочленен с тремя шатунами: центральным шатуном 4, образующим шарнирное соединение с винтом 6, и двумя боковыми шатунами 3, на которых подвешен наружный ползун 1. В направляющих наружного ползуна установлен внутренний ползун (штамподержатель) 7 с возможностью вращения, жестко соединенный с нижним концом винта 6. Электродвигатель 11 вращает маховик 10, являющийся ведомым шкивом клиноременной передачи. В наружном ползуне смонтирована гайка 2, образующая винтовую несамотормозящую пару с винтом 6. Центральный эксцентрик развернут относительно боковых эксцентриков в направлении вращения эксцентрикового вала на угол β .

Центральный эксцентрик 9, шатун 4 и винт 6 образуют исполнительный механизм поступательного перемещения штамподержателя 7. Боковые эксцентрики 8, шатуны 3 и ползун 1 с гайкой 2 образуют исполнительный механизм вращения штамподержателя 7. Разворот эксцентриков смещает по фазе скорости поступательного перемещения гайки и винта, вызывая тем самым вращение штамподержателя с угловой скоростью ω_B , пропорциональной разности скоростей поступательного перемещения гайки и винта [3]:

$$\omega_B = (v_T - v_B) \cdot \frac{2\pi}{S}, \quad (2)$$

$$v_B = \omega_0 R (\sin \alpha + \lambda_1 \sin 2\alpha),$$

$$v_T = \omega_0 [R \sin(\alpha + \beta) + \lambda_2 \sin 2(\alpha + \beta)],$$

где v_T — скорость гайки; v_B — скорость винта; ω_0 — угловая скорость эксцентрикового вала; R — радиус эксцентриков; λ_1, λ_2 — коэффициенты центрального и бокового шатунов соответственно; S — ход винтовой нарезки; α — угол поворота кривошипного вала; β — угол разворота эксцентрика.

Направление разворота эксцентрика обеспечивает во время штамповки опережающее движение гайки по отношению к винту, а угол разворота выбирают достаточным для получения технологически заданных параметров штамповки.

На рис. 8 представлены графики изменения скоростей внутреннего v_B и наружного v_H ползу-

нов за полный оборот кривошипного вала. Вследствие разницы скоростей ползунов, а, следовательно, и разницы скоростей гайки и винта, внутренний ползун получает вращение. На рис. 9, 10 приведены графики изменения угла поворота φ и угловой скорости винта в зависимости от угла поворота α кривошипного вала. Эти графики показывают, что при подходе внутреннего ползуна к крайнему нижнему положению ($\alpha = 180^\circ$) его скорость поступательного перемещения уменьшается, а угловая скорость вращения увеличивается. Отношение ω_B/v_B , как показывает выражение (1), является основным технологическим параметром пресса, определяемым по формуле, получаемой из выражения (2):

$$\frac{\omega_B}{v_B} = \frac{2\pi}{S} \left[\frac{\sin(\alpha + \beta) + \lambda_2 \sin 2(\alpha + \beta)}{\sin \alpha + \lambda_1 \sin 2\alpha} - 1 \right]. \quad (3)$$

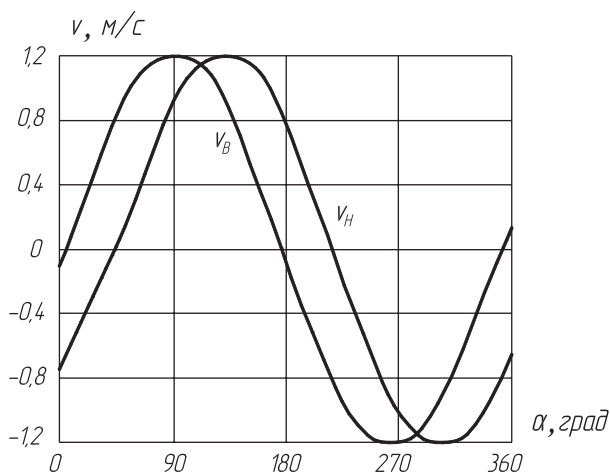


Рис. 8. Изменение скоростей внутреннего и наружного ползунов пресса

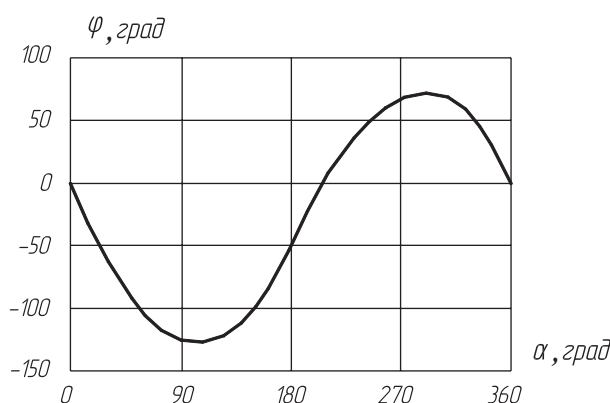


Рис. 9. Изменение угла поворота винта

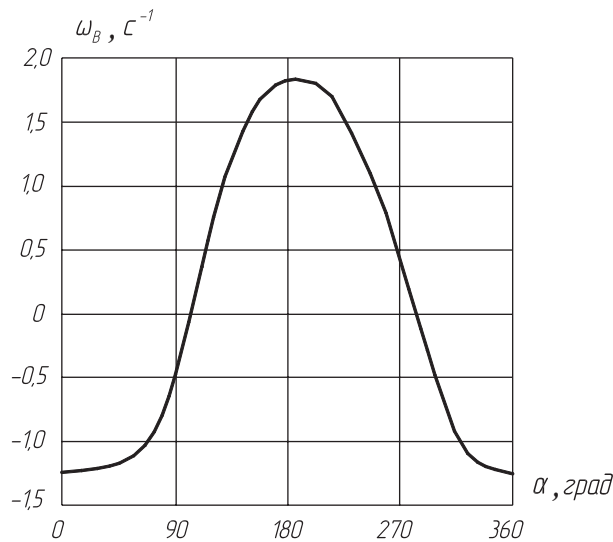


Рис. 10. Изменение угловой скорости винта

Технологический процесс штамповки методом осадки с кручением, реализуемый на кривошипном прессе с вращающимся штамподержателем, унифицирован и включает следующие переходы: осадка нагретой заготовки, штамповка с кручением осаженной заготовки и обрезка облоя. Штамповка осуществляется в штамповом блоке (рис. 11), имеющем три позиции. Позиции осадки и прошивки размещаются на наружном ползуне под боковыми шатунами симметрично относительно центральной позиции штамповки с кручением, осуществляемой вращающимся штамподержателем. Такая компоновка гарантирует защиту ползунов от перекосов, обеспечивает надежность и стойкость как самого пресса, так и инструмента.

Особенность нагружения пресса состоит в том, что в процессе штамповки гайка, вращая винт, преодолевает технологический момент трения M_T штампа о поковку и момент трения в резьбе. Для поступательного перемещения гайки боковые шатуны нагружаются силой

$$P_1 = \frac{M_T}{\frac{S}{2\pi} - fr_B}, \quad (4)$$

где f — коэффициент трения скольжения в резьбовой паре; r_B — средний радиус винта.

Сила P_2 на центральном шатуне определяется как разность технологической силы штам-

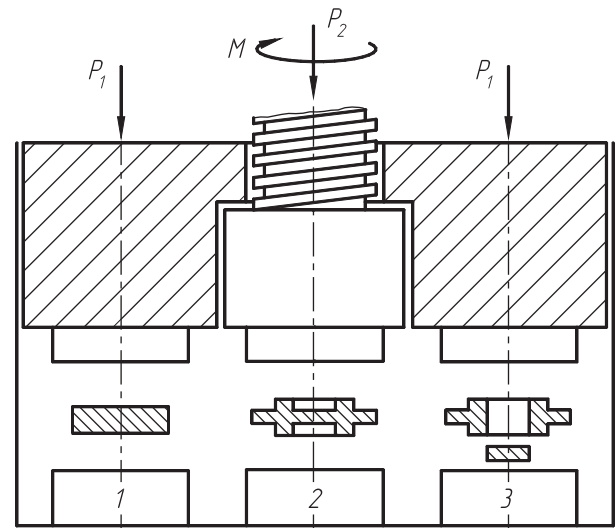


Рис. 11. Технологические переходы на прессе с вращающимся штамподержателем:

1 — осадка; 2 — штамповка с кручением; 3 — прошивка; P_1 — сила на боковых шатунах;

P_2, M — соответственно сила и момент на центральном шатуне

повки P_T и силы P_1 , развиваемой боковыми шатунами:

$$P_2 = P_T - P_1. \quad (5)$$

Таким образом, сила штамповки P_T перераспределяется между тремя шатунами, при этом нагружение боковых шатунов зависит от технологического момента и условий трения в винтовой паре.

Результаты анализа специального КГШП

На рис. 7, б представлен внешний вид опытно-промышленного образца КГШП с вращающимся штамподержателем силой 10 МН, изготовленного Воронежским заводом тяжелых механических прессов («Воронежтяжмехпресс»). Исследования специального пресса проведены путем компьютерного моделирования и экспериментальной штамповки типовых поковок. Компьютерная модель построена на основе технологических уравнений штамповки методом осадки с кручением (1), кинематических уравнений (2) и (3) движения наружного ползуна, связанного с гайкой, и внутреннего ползу-

на, связанного с винтом, несущим инструмент, а также уравнений (4) и (5) силового нагружения ползунов.

В качестве примера приведены результаты компьютерного моделирования и экспериментальной штамповки поковки «каретка синхронизатора» автомобиля ЗиЛ 4331. На рис. 12 представлен эскиз поковки (а), а также внешний вид заготовки (б) и поковки после технологических переходов штамповки с кручением (в) и прошивки (г). Заготовку нагревали в камерной печи сопротивления до температуры 1200 °С.

ческая сила увеличивается и достигает максимального значения около 7 МН при угле поворота эксцентрикового вала $\alpha \approx 178^\circ$. В дальнейшем, вследствие резкого возрастания отношения ω_B/v_B , а, следовательно, и технологического параметра кручения q , сила штамповки уменьшается. В этом состоит принципиальное отличие штамповки вращающимся инструментом от штамповки поступательно перемещающимся инструментом, которая характеризуется резким возрастанием силы в последней стадии доштамповки.

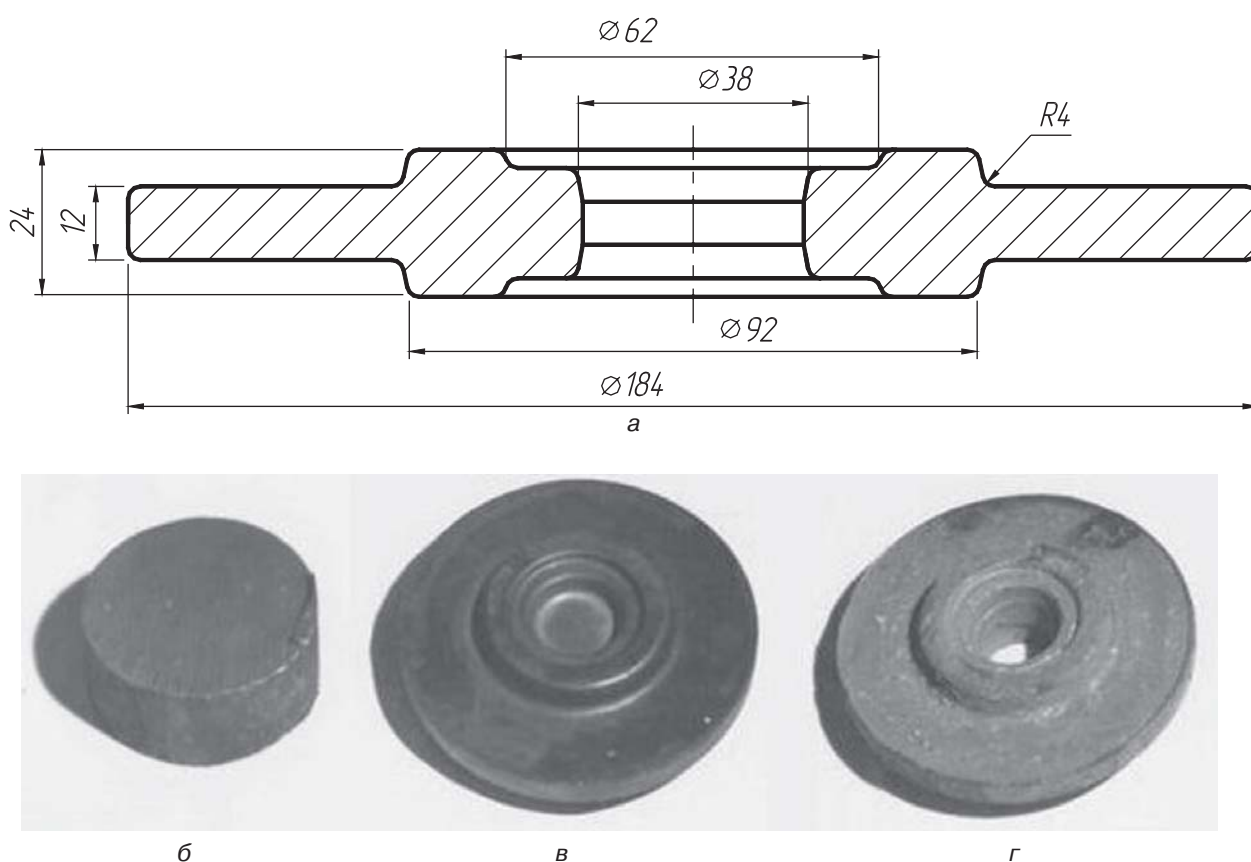


Рис. 12. Поковка «каретка синхронизатора» автомобиля ЗиЛ 4331:
а — эскиз; б — заготовка; в — поковка после штамповки с кручением;
г — поковка после прошивки

На рис. 13 приведены экспериментальные и расчетные графики силового нагружения прессы на позиции штамповки с кручением. Сила прессы определялась суммой сил на боковых и центральном шатунах. По мере осадки заготовки и уменьшения ее высоты с одновременным увеличением диаметра технологи-

Энергетические затраты при работе прессы характеризуются данными, приведенными на рис. 14. За время полного цикла одиночного хода электродвигатель затрачивает работу $A_6 = 258$ кДж. Полезная работа A_n , затраченная на осадку заготовки и ее скручивание, составляет 85 кДж, т.е. пресс работает с КПД равным

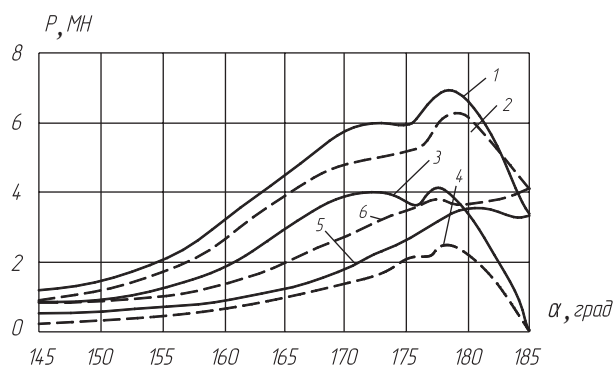


Рис. 13. Экспериментальные (—) и расчетные (---) графики силового нагружения специального пресса при штамповке с кручением:

1 и 2 — суммарная технологическая сила P_T ;

3 и 4 — сила P_2 на центральном шатуна;

5 и 6 — суммарная сила P_1 на боковых шатунах

33 %. Такого же порядка составляют потери на трение в узлах пресса ($A_F = 92,9$ кДж). Последняя треть (в сумме) энергетических затрат связана с включением муфты ($A_M = 52,4$ кДж) и торможением ведомых масс ($A_T = 28,5$ кДж).

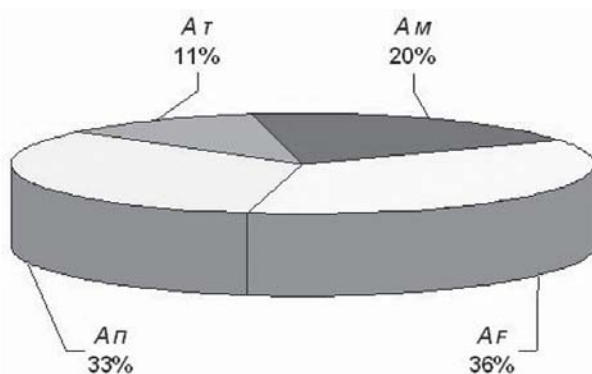


Рис. 14. Баланс работ за рабочий ход пресса

В кузнечно-штамповочном производстве АМО ЗиЛ поковка «каретка синхронизатора» штампуется в открытых штампах на прессе силой 25 МН. Сила открытой штамповки при традиционном нагружении [4] составляет от 13 до 24,5 МН в зависимости от величины облоя. Безоблойная штамповка на специальном прессе позволяет снизить силу штамповки в 2–3 раза.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности применения штамповки методом осадки с кручением для изготовления поковок ведомых шестерен заднего моста грузовых автомобилей. Достигнутый уровень снижения силы штамповки с помощью данного метода достаточен для использования КГШП с вращающимся штамподержателем силой 63 МН. Такой пресс может быть изготовлен на базе универсального пресса силой 63 МН, так как компоновка специального пресса аналогична компоновке универсального КГШП.

Внедрение новой технологии в автомобильной промышленности позволит:

- для поковок автомобилей ЗиЛ перейти от молотовой к прессовой штамповке;
- для поковок автомобилей ГАЗ сократить число автоматизированных штамповочных линий с двух до одной;
- для поковок автомобилей КаМАЗ отказаться от малопроизводительных раскатных машин и многократно сократить производственные площади.

Список литературы

1. Субич В.Н. Контактное взаимодействие усилий и моментов при штамповке с кручением // Известия вузов. Машиностроение. 1984. № 4. С. 110—114.
2. Степанов Б.А., Субич В.Н., Сафонов А.В. и др. Исследование штамповки методом осадки с кручением на модернизированном гидравлическом прессе // Кузнечно-штамповочное производство. 1986. № 10. С. 79.
3. Субич В.Н., Степанов Б.А., Горожанкин В.Н. и др. Кривошипный горячештамповочный пресс с вращающимся инструментом // Кузнечно-штамповочное производство. 1989. № 8. С. 30—31.
4. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. /Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 1986. Т. 2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова, 1986. — 592 с.