

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 штампаемых 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 ($T=1000$ °C, $\sigma_s=60$ 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 штампируемого 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, штампемых на типажных 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 эксцентричности установки заготовки на заполнение металлом штампа. Это обстоятельство в совокупности с общим снижением давления на гравюре позволяет устранить отрицательные последствия неравномерного заполнения 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.

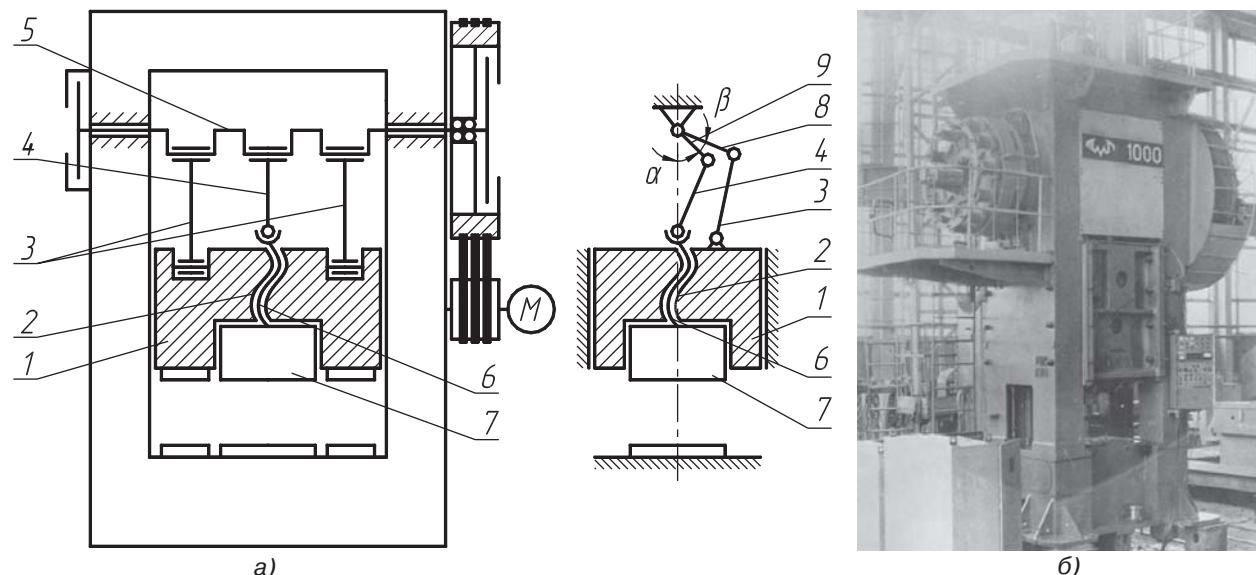


Рис. 7. Кинематическая схема (а) и общий вид (б) специального КГШП силой 10 МН:

- 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, соединен 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]:

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

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

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

где v_g — 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_g 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):

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

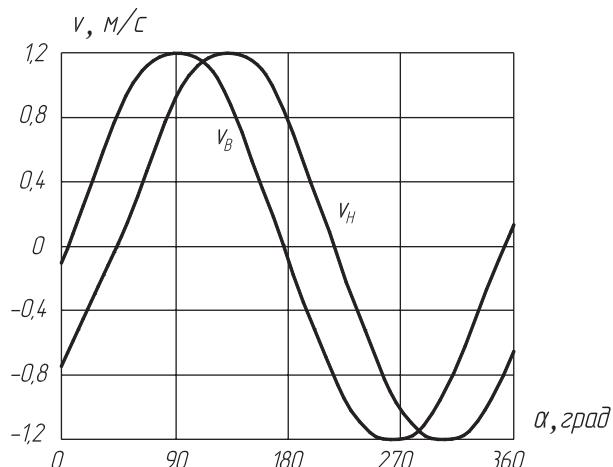


Рис. 8. Изменение скоростей внутреннего и наружного ползунов пресса

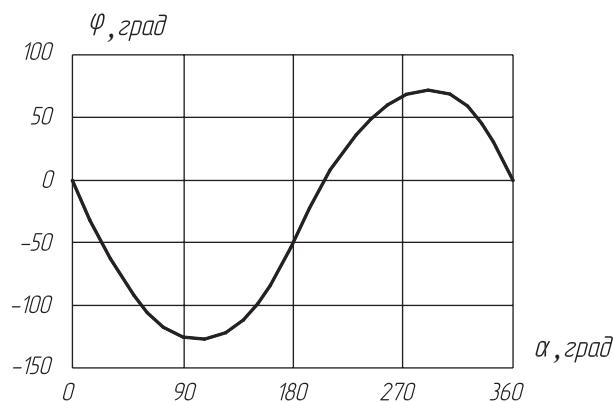


Рис. 9. Изменение угла поворота винта

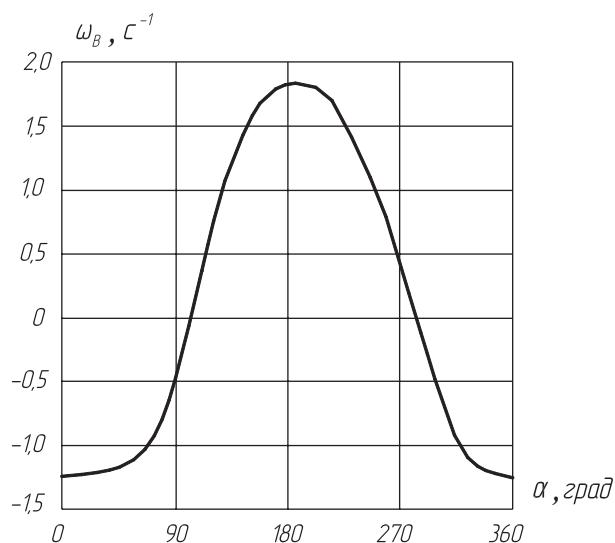


Рис. 10. Изменение угловой скорости винта

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, осуществляющей 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 гайки, 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-

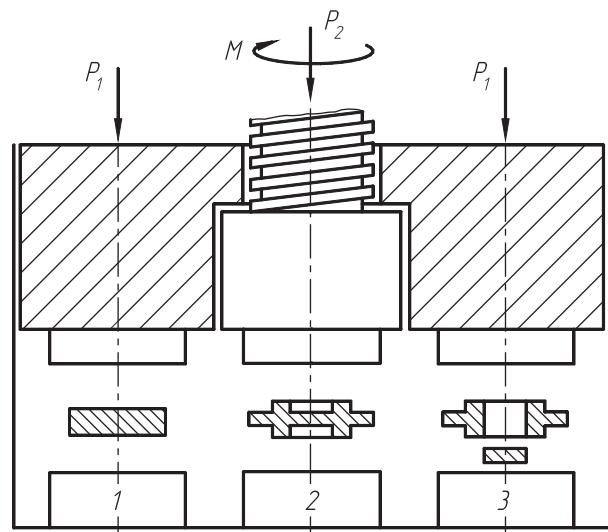


Рис. 11. Технологические переходы на прессе

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.

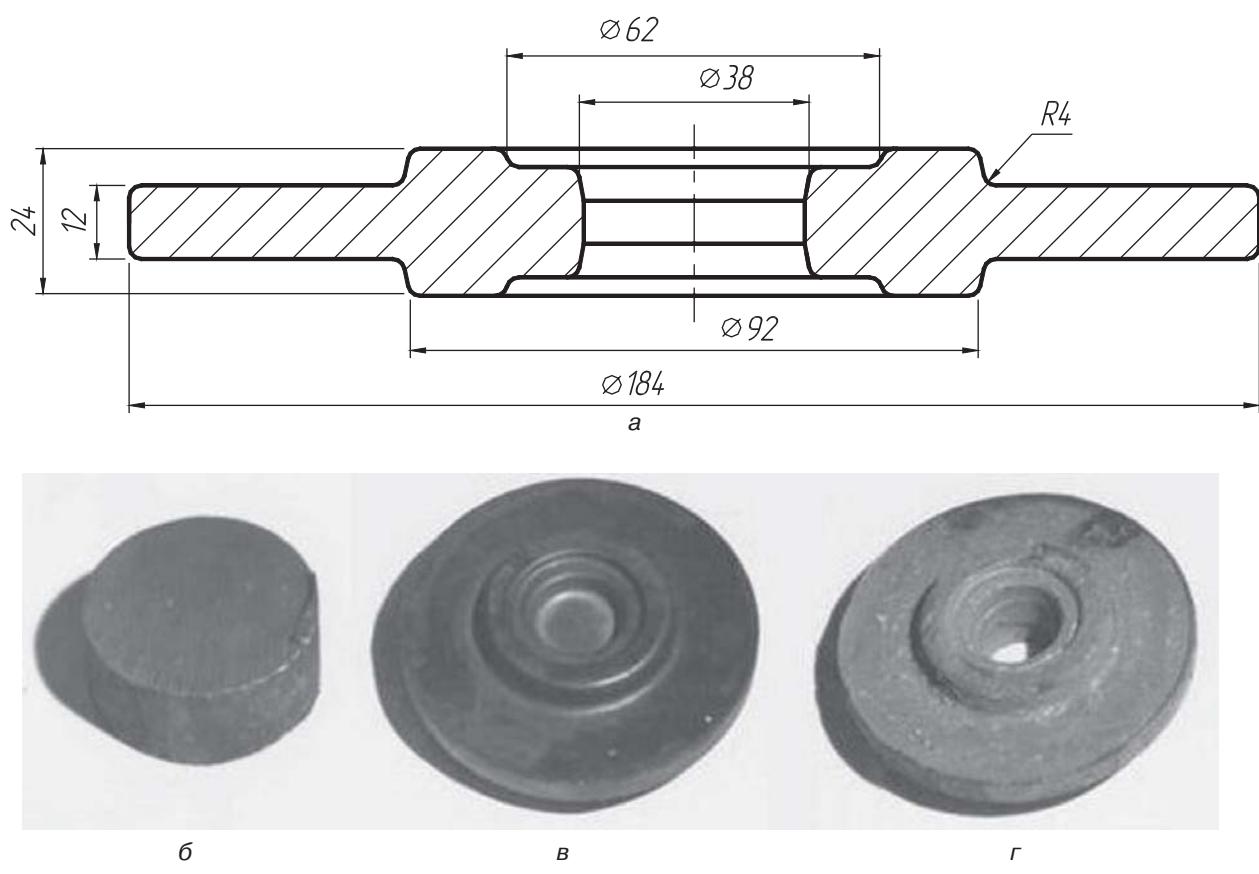


Рис. 12. Поковка «каретка синхронизатора» автомобиля ЗиЛ 4331:
а — эскиз; б — заготовка; в — поковка после штамповки с кручением;
г — поковка после прошивки

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

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

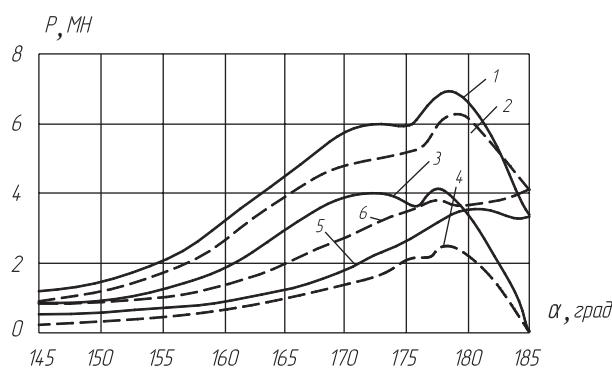


Рис. 13. Экспериментальные (—) и расчетные (---) графики силового нагружения специального пресса при штамповке с кручением:
1 и 2 — суммарная технологическая сила P_t ;
3 и 4 — сила P_2 на центральном шатуне;
5 и 6 — суммарная сила P_1 на боковых шатунах

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

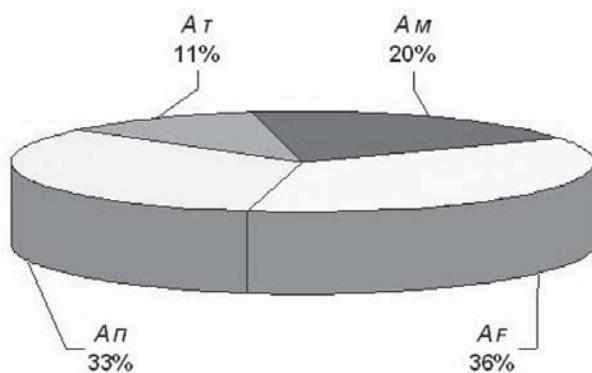


Рис. 14. Баланс работ за рабочий ход пресса

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.