

## МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.771

### ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ ПОД ШТАМПОВКУ БАЛКИ ПЕРЕДНЕЙ ОСИ АВТОМОБИЛЯ МАЗ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИХ ПРОКАТКИ

*акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. В.В. КЛУБОВИЧ, канд. техн. наук В.А. ТОМИЛО  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Проанализировано назначение и эксплуатационные требования к балкам передней оси большегрузного автомобиля. Предложено использовать в качестве заготовки под штамповку переменный двутавровый профиль. Описаны конструкции станков для вальцовки фасонных профилей и механизмов загрузки заготовки. Представлена методика определения действующего катающего радиуса для круглого, ромбического и двутаврового калибров. Приведены технические результаты и экономическая эффективность технологии предварительной вальцовки под штамповку заготовок балки передней оси. Показано, что внедрение в производство технологии предварительной вальцовки и прокатного стана позволит добиться снижения металлоемкости, сократить число ударов молота, отказаться от механической обработки заготовки под штамповку и повысить стойкость штампов.*

**Введение.** Мосты автомобиля воспринимают вертикальные, продольные и поперечные усилия, а также моменты, возникающие при взаимодействии колес с дорогой, передают эти усилия и моменты деталям подвески автомобиля или прицепного звена. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к мостам, являются обеспечение прочности и долговечности при минимальной массе. Мосты составляют неподдресоренные массы автомобиля или прицепного звена автопоезда. Поэтому нерациональное использование металла отрицательно сказывается не только на снижении массовых показателей, но и на плавности хода транспортного средства. Качественные показатели мостов существенно влияют на общие эксплуатационные показатели автомобилей и автопоездов [1].

**Основная часть.** В современном автомобильном производстве, особенно в такой металлоемкой его части, как производство мостов, на первое место выходит технологичность процесса. Следует отметить, что большинство технологических процессов получения крупногабаритных деталей разрабатывались и внедрялись 40...50 лет назад, когда в первую очередь ставилась задача получения качественных изделий, а проблемы металлоемкости и стойкости инструмента отходили на второй план.

Сегодня, когда стоимость металла достигает 50...60 % от себестоимости изделия, вопросы наиболее рационального использования металла приобретают особую актуальность. Второй, также достаточно весомой статьей затрат является изготовление и ремонт штамповой оснастки. Как показала практика, использование в качестве заготовок под штамповку профилей, приближенных к готовому изделию, позволяет повысить стойкость штамповой оснастки в 1,5...2 раза. Предварительная вальцовка или прокатка заготовки перед штамповкой позволяет в максимальной мере решать проблемы снижения металлоемкости и повышения стойкости инструмента [2].

Балку передней оси штампуют на молотах или прессах из круглой или предварительно спрофилированной заготовки. При штамповке из круглой заготовки вес облоя может достигать 30...35 % веса заготовки. Поэтому производители стараются различными способами спрофилировать центральную часть заготовки, убирая «излишки» металла, или перераспределяя их в концевые участки. Наибольшее распространение получили заготовки с круглой, овальной, квадратной, ромбической и двутавровой формой поперечного сечения центральной части. Круглое сечение получают, как правило, механической обработкой, остальные – ковкой, штамповкой, прокаткой.

Из всех периодических профилей, применяемых в качестве заготовки для штамповки передней балки, оптимальным считается заготовка с центральным участком, идентичным профилю гравюры штампа [3]. Такой профиль можно получить не только за счет минимального перераспределения металла вдоль ручья при штамповке, но и максимально возможного уменьшения заусенца (в идеальном случае облой в центральной части поковки отсутствует). Кроме того, выход из строя штампов для штамповки передней балки определяется в первую очередь износом центральных участков гравюры. Таким образом, используя в качестве заготовки под штамповку профиль готовой поковки, можно получить процесс, в котором центральная часть балки только калибруется, что позволит повысить ресурс штампов до ремонта в 2...2,5 раза и, как следствие, снизить время и затраты на смену инструмента и переналадку оборудования.

Немаловажным аргументом в пользу применения экономических профилей служит и тот факт, что текстура металла после прокатки имеет более ярко выраженную продольную ориентацию зерен, что, несомненно, благоприятно скажется на жесткости и особенно на усталостной прочности готовой балки. Не следует забывать, что передняя балка является одной из наиболее нагруженных деталей автомобиля и ее деформация в процессе эксплуатации ведет не только к повышенному расходу горючего и износу резины, вследствие изменения геометрии подвески, но и снижает безопасность эксплуатации автомобиля.

Для расчетов по определению исполнительных размеров калибра при периодической прокатке (вальцовке) фасонных профилей основным является определение опережения, которое зависит от величины действующего катающего радиуса.

Большинство профилей переменного сечения состоит из ряда клиновидных участков. Прокатка клиновидных полос представляет собой неустановившийся процесс, так как при повороте валков изменяются обжатие и геометрические размеры очага деформации. Прокатка с убывающим обжатием происходит при уменьшении объема и длины очага деформации, угла захвата и обжатия. Силовые условия в очаге деформации также непрерывно изменяются, что приводит к изменению соотношения между зонами опережения и отставания. Прокатка с нарастающим обжатием сопровождается увеличением объема и длины очага деформации, увеличением угла захвата и обжатия. Соотношение между зонами опережения и отставания также изменяется.

При обычном установившемся процессе прокатки в круглых валках опережение имеет важное практическое значение лишь при непрерывной прокатке. Даже в этом случае чаще всего важно знать не величину опережения в каждой клетке, а лишь соотношение между опережением в различных клетках.

Иначе дело обстоит при продольной периодической прокатке. Так как по длине полосы форма и размеры ее продольно-вертикального сечения изменяются, то для получения требуемых размеров готового проката необходимо определять опережения на различных участках заготовки, так как по этим данным производится калибровка валков.

В связи с непрерывным изменением параметров очага деформации в процессе прокатки клиновидной полосы опережение также изменяется.

При прокатке фасонных профилей в калибрах уширением можно пренебречь. Для обычной прокатки в круглых валках из условия равенства секундных объемов металла, проходящих через критическое сечение и сечение выхода, имеем

$$S = \frac{h_\gamma}{h_1} - 1, \quad (1)$$

где  $h_\gamma$  – высота критического сечения;  $h_1$  – толщина полосы после прокатки.

В рассматриваемом случае для прикладных расчетов целесообразно представить прокатку в сортовом калибре как прокатку в гладких валках равного диаметра, используя приведенные катающие диаметры. При проведении расчетов по определению исполнительных размеров калибра при периодической прокатке (вальцовке) фасонных профилей основным является определение опережения, которое зависит от величины действующего катающего радиуса. Основным критерием, характеризующим процесс прокатки как в нестационарной (захват конца заготовки, переходные зоны), так и в стационарной ее части, является угол захвата металла. Отметим, что угол захвата изменяется в процессе прокатки периодических профилей. Поэтому вопрос определения этого радиуса для выполнения всех расчетов геометрии заготовок и инструмента является основным.

Практически все используемые в настоящее время заготовки под штамповку имеют профиль центральной части, состоящий из круглых и (или) ромбических элементов. Действующий радиус ( $R_\delta$ ) для круглого ручья (рис. 1, а) определим по формуле:

$$R_\delta = R_\delta - r \cdot \sin\varphi, \quad (2)$$

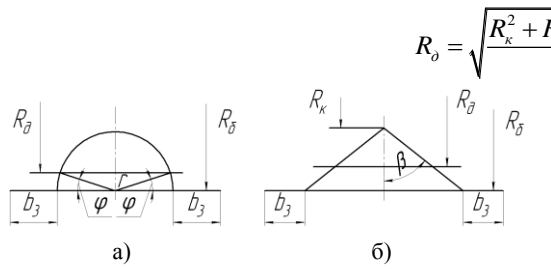
где  $R_\delta$  – радиус бочки валка;  $r$  – радиус вреза валка (см. рис. 1, а).

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{2(\sqrt{2}-1)r^2 + b_3 R_\delta}{2\sqrt{2}r^2 - 4R_\delta r},$$

или

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{0,83r^2 + b_3 R_\delta}{2,83r^2 - 4r R_\delta}. \quad (3)$$

Для ромбического ручья (рис. 1, б):



$$R_o = \sqrt{\frac{R_k^2 + R_\delta^2 + b_3 R_\delta \cos \beta}{2}} \quad (4)$$

Угол φ, определяющий действующий радиус для круглого ручья, определим по формуле:

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{2(\sqrt{2}-1)r}{2\sqrt{2}r - 4R_\delta} \quad (5)$$

Действующий радиус для ромбического ручья

$$R_o = \sqrt{\frac{R_k^2 + R_\delta^2}{2}} \quad (6)$$

Рис. 1. Действующий радиус при прокатке с заусенцем: а – в круглом калибре; б – в ромбическом калибре

Учитывая изложенное, можно вывести формулы для определения действующего радиуса у ручьев различной формы с учетом образующегося при прокатке заусенца. Для упрощения расчетов двугавровый профиль, имеющий место в центральной части заготовки балки передней оси автомобиля, можно представить в виде трапеции и двух полуокругов (рис. 2).

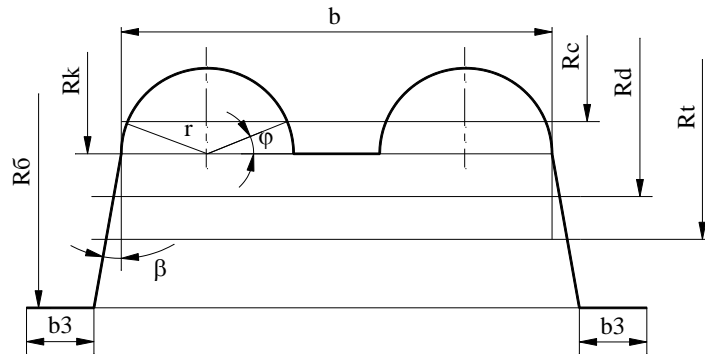


Рис. 2. Действующий радиус при прокатке с заусенцем в двугавровом калибре

Тогда, используя приведенные выше формулы и видоизменив их для нашего случая, можно записать: - для трапецидального профиля:

$$R_T = \sqrt{\frac{R_k^2 + R_\delta^2 + (b_3 R_\delta - b R_k) \cdot \cos \beta}{2}} ; \quad (7)$$

- для круглого профиля:

$$R_C = R_k - r \cdot \sin \varphi , \quad (8)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{2(\sqrt{2}-1)r^2}{2\sqrt{2}r^2 - 4R_k r} , \quad (9)$$

или

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{0,83r^2}{2,83r^2 - 4rR_k} \quad (10)$$

В представленных формулах  $R_\delta$  – радиус бочки валка,  $\beta$  – угол наклона образующих,  $b_3$  – ширина заусенца.

Действующий радиус для двугаврового ручья можно записать в следующем виде:

$$R_d = \frac{\sqrt{\frac{R_k^2 + R_o^2 + (b_3 R_o - b R_k) \cos \beta}{2}} + R_k - r \cdot \sin \varphi}{2+n}, \quad (11)$$

где  $n$  – коэффициент, представляющий собой отношение площадей полукругов к площади трапеции.

Как показали ранее проведенные исследования, а также результаты испытаний поковок балки передней оси 64221-3001010, выполненных на РУП «Кузнечный завод тяжелых штамповок» (г. Жодино), оптимальным профилем заготовки под штамповку является двутавровый в центре и круглый на концах. Такую заготовку можно получить вальцовкой за один проход в двухвалковой клети с горизонтально установленными секторными валками.

В различных вариантах компоновки неизменной остается конструкция прокатной клети. Привод валков и механизм подачи заготовки в зону прокатки может быть различным. Для привода вращения валков существует два принципиально отличных варианта:

1) механический привод от электродвигателя через клиноременную передачу, редуктор и раздаточную клетку;

2) гидравлический – от гидростанции, гидравлическим цилиндром, соединенным с двусторонней зубчатой рейкой, приводящей во вращение шестерни, закрепленные на приводных валах прокатных валков.

Механический привод проще и дешевле, состоит из стандартных узлов и деталей. Недостатком является сложность реализации механизмов частого пуска и останова валков в определенных положениях. Гидравлика этих недостатков лишена, однако значительно дороже и сложнее в эксплуатации и обслуживании. По совокупности положительных и отрицательных моментов оба варианта примерно равнозначны и могут с успехом использоваться в установке для предварительной вальцовки заготовок под штамповку. Большим разнообразием отличаются предложенные способы подачи заготовки в зону прокатки. На рисунке 3 представлена принципиальная схема установки для предварительной вальцовки с пневматической загрузкой.

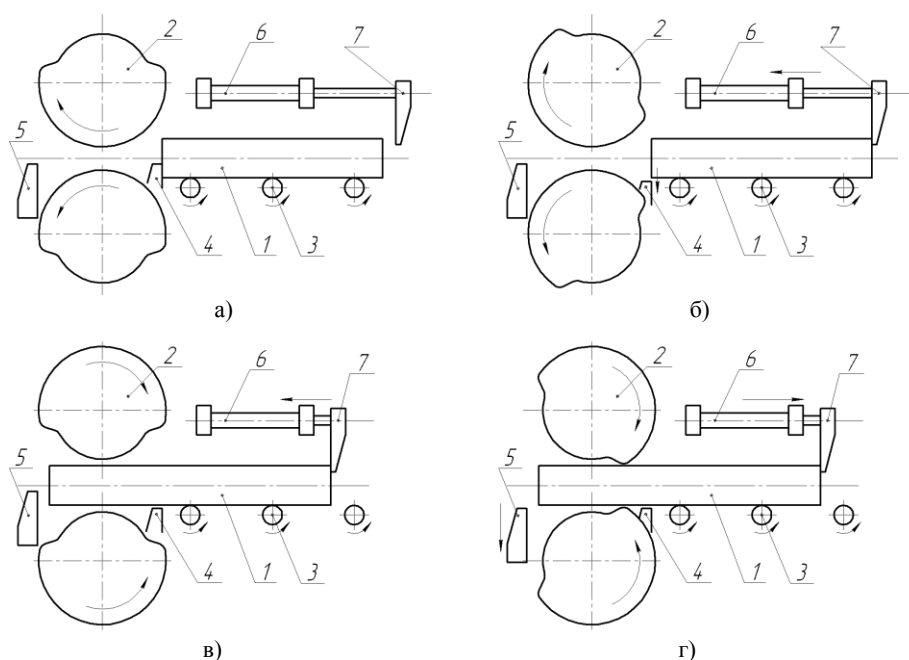


Рис. 3. Принципиальная схема установки для предварительной вальцовки с пневматической загрузкой (а, б, в, г – стадии работы):

1 – заготовка; 2 – секторный валок; 3 – ролик; 4 – упор передний;  
5 – упор задний; 6 – пневмоцилиндр; 7 – досылатель

В данном случае подача заготовки в зону прокатки осуществляется по ролик, часть роликов которого являются приводными, часть – свободными, посредством пневмоцилиндра с досылателем.

Основная сложность реализации этой схемы заключается в необходимости дослат часть заготовки длиной 600 мм за время 1,8...2,0 с, пока секторы валков находятся в разведенном положении. Пневматика может обеспечить большие скорости, однако отличается невысокой стабильностью, особенно в условиях повышенных температур и запыленности молотовых цехов.

Этого недостатка лишена схема с кривошипно-шатунным загрузочным механизмом (рис. 4). Однако для подачи заготовки на 600 мм необходимо обеспечить радиус кривошипа не менее 300 мм, что достаточно сложно вписать в конкретную прокатную клеть. Предпочтительным в данном случае является кривошипно-кулисный загрузочный механизм. Наиболее простым и недорогостоящим является загрузочное устройство с приводным рольгангом. Для его функционирования необходимо обеспечить криволинейность исходной заготовки в пределах не более 5 мм на метр длины. Применяемый в настоящее время нагрев в газопламенной проходной печи не может обеспечить такую точность. С внедрением индукционного нагрева заготовки загрузочное устройство с приводным рольгангом станет оптимальным вариантом.

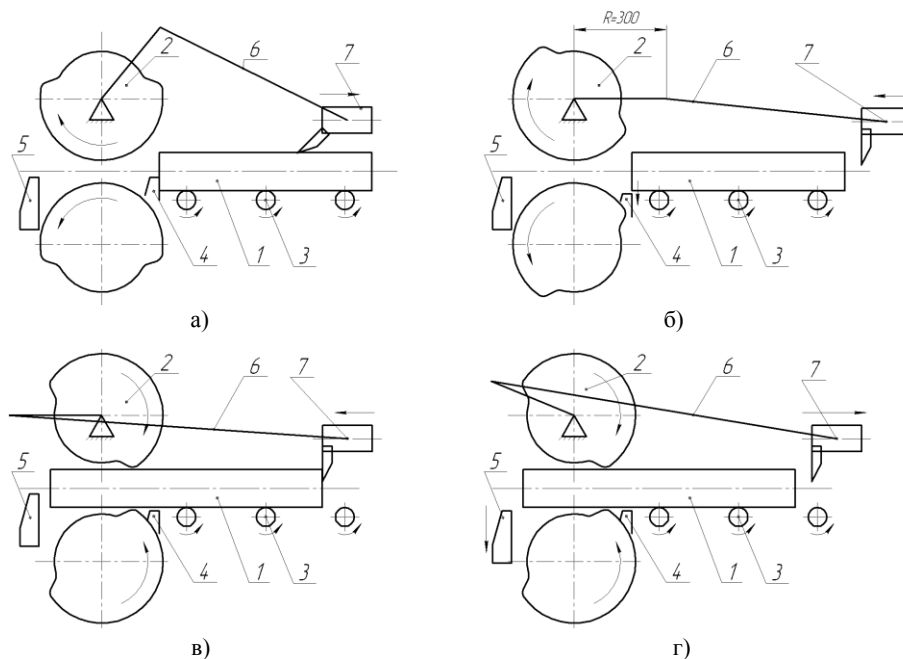


Рис. 4. Принципиальная схема установки для предварительной вальцовки с загрузкой посредством кривошипно-шатунного механизма (а, б, в, г – стадии работы):  
1 – заготовка; 2 – секторный валок; 3 – рольганг; 4 – упор передний; 5 – упор задний;  
6 – кривошипно-шатунный механизм; 7 – досылатель

Оптимальной схемой предварительной вальцовки заготовок под штамповку балки передней оси является, по нашему мнению, прокатка в двухвалковой клетке с механическим приводом вращения валков и кривошипно-шатунным, или кривошипно-кулисным загрузочным механизмом.

Вальцовку заготовок ромбического и двутаврового профиля осуществляют на специальных станках. Стан для вальцовки серединной части заготовки под поковку балки передней оси схематично представлен на рисунке 5, а его внешний вид показан на рисунке 6.

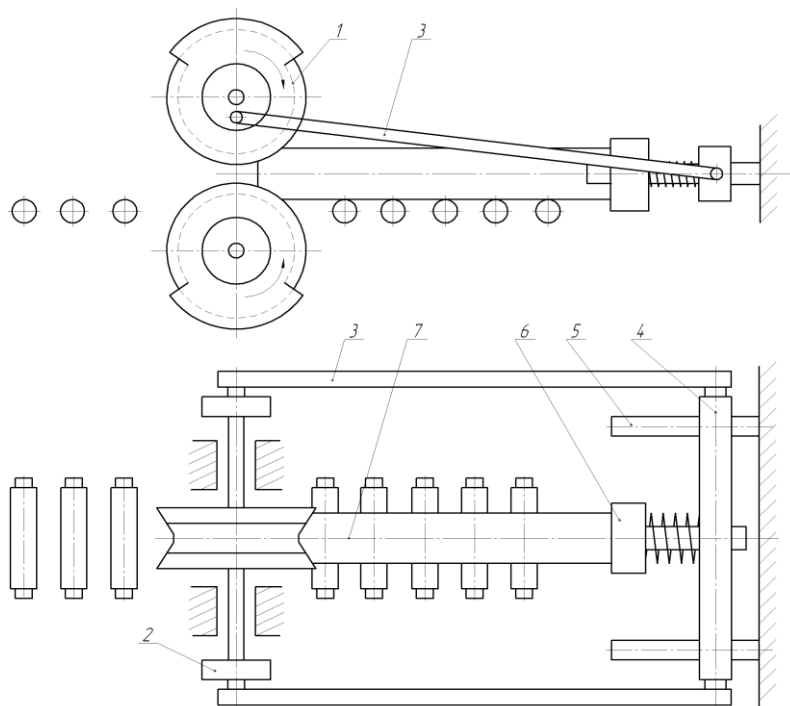


Рис. 5. Принципиальная схема стана для вальцовки

Деформируемым инструментом стана (см. рис. 5) служат профилированные секторные валки 1, синхронно вращающиеся от привода. На оси одного из валков посажены кривошипные, с которыми шарнирно связаны шатуны 3. Другой стороной шатуны соединены при помощи цапф с подвижной траверсой 4, имеющей возможность перемещаться по направляющим 5, жестко закрепленным в станине. Траверса содержит подпружиненный толкатель 6. Для удержания заготовки 7 в горизонтальном положении служит неприводной рольганг 8. В процессе вращения валков траверса совершает возвратно-поступательные перемещения. При положении траверсы в крайнем, отведенном от валков, положении заготовку укладывают на рольганг. Затем при включении стана траверса за счет кривошипно-шатунного механизма начинает перемещаться в направлении валков, заталкивая в них подпружиненным толкателем заготовку при строго определенном положении катающих секторов. После захвата с локальным обжатием, порядка 1...2 %, заготовка перемещается валками и при набегании катающих секторов обжимается на квадрат в строго заданной ее части, а затем сопровождается снова валками вплоть до выхода из них.

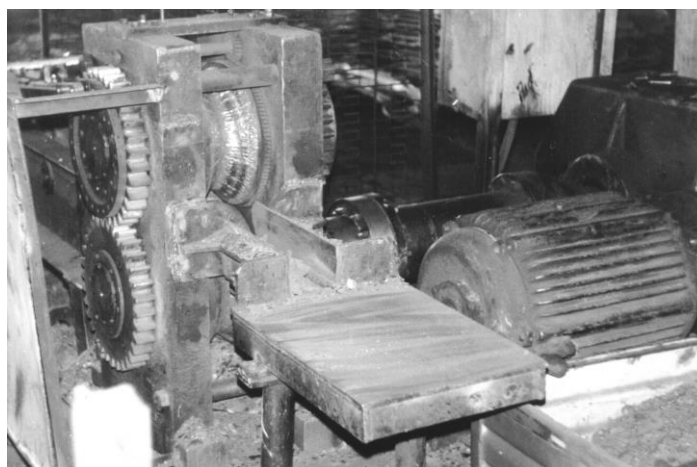


Рис. 6. Стан для вальцовки заготовки передней балки

**Заключение.** Внедрение в производство технологии предварительной вальцовки и прокатного стана позволило добиться снижения металлоемкости до 20 %, сократить число ударов молота с 20 до

16...17, отказаться от механической обработки заготовки под штамповку и повысить стойкость штампов на 30 %.

Использование заготовок двугаврового профиля для штамповки передней балки позволит не только получить дополнительную экономию металла, значительно повысить стойкость штампов, но и использовать для штамповки не 16-тонный, а значительно более дешевый и распространенный 10-тонный молот.

Внедрение на РУП «Кузнечный завод тяжелых штамповок» (г. Жодино) технологии предварительной вальцовки заготовки под штамповку балки передней оси позволило добиться экономии 250 тонн стали 40Х в год. Суммарный годовой экономический эффект превышает 1,5 млн. долларов США.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марголис, С.Я. Мосты автомобилей и автопоездов: Расчет, конструкции и испытания / С.Я. Марголис. – М.: Машиностроение, 1983. – 159 с.
2. Савец, В.Е. Производство и применение экономичных профилей проката / В.Е. Савец. – М.: Металлургия, 1967. – 76 с.
3. Клубович, В.В. Технологии изготовления и обработки специальных периодических профилей / В.В. Клубович, В.А. Томило. – Минск: БНТУ, 2007. – 295 с.

*Поступила 08.02.2008*