

УДК 621.96

А. В. Алифанов<sup>1</sup>, Л. Л. Согник<sup>2</sup><sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ПОЛУЗАКРЫТЫЙ ШТАМП ДЛЯ РУБКИ СКОЛОМ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПРУТКОВЫХ ЗАГОТОВОК

Представлен метод получения высококачественных заготовок в полузакрытом штампе с регулируемым радиальным подпором свободного конца заготовки. Приводится подробное описание экспериментальной штамповой оснастки для получения высокоточных цилиндрических заготовок, пригодных для дальнейшего холодного выдавливания без доработки после разделительной операции. Даны рекомендации по расчёту прикладываемого радиального усилия.

**Введение.** Развитие науки, масштабы практического использования её результатов в настоящее время становятся важнейшими факторами повышения эффективности промышленного производства. Решение подобной задачи невозможно без разработки принципиально новых технологий и оборудования, позволяющих получать изделия высокого качества при наименьших затратах на их производство.

Разработка и совершенствование современных, в том числе безотходных, технологий в металлообрабатывающей промышленности, развитие автоматизированных производств вызвало повышение требований к качеству заготовок. Решение задачи максимального приближения геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали стало одной из главных тенденций технического прогресса в заготовительном производстве. Отрезанные от прутка заготовки с неплоскими торцами, искажениями формы, неточными размерами, заусенцами уже не способны удовлетворить современное металлообрабатывающее производство. Поэтому получение качественных заготовок с плоскими, гладкими, с минимальной овальностью торцами, правильной геометрической формы и стабильными размерами является одной из основных проблем при внедрении прогрессивных технологических процессов точной объёмной штамповки.

Важным условием при разработке новых процессов является установление и исследование взаимосвязи параметров, а также их влияния на процесс деформирования и конечный результат получения заготовок. Качество изготовления деталей, производительность и стабильность/устойчивость технологических процессов отрезки от прутка точных заготовок зависят от правильного выбора технологических и конструктивных параметров, т. е. получение требуемого эффекта возможно только при оптимальном режиме резки. Экономичное разделение пруткового материала на точные качественные заготовки возможно путём широкого внедрения в производство высокопроизводительной безотходной отрезки заготовок сдвигом в штампах и на сортовых ножницах взамен применяемых менее эффективных способов — холодной ломки, отрезки пилами, на отрезных станках и др.

**Анализ технологических процессов получения заготовок от пруткового материала.** Наиболее перспективной для разделки заготовок сверхпрочных и хрупких материалов является лазерная резка. Этот способ может обеспечить высокую точность заготовок из материала любой твёрдости, но недостатком его является применение дорогостоящего оборудования, а также большая энергоём-

кость процесса. Также к перспективным современным способам разделения заготовок можно отнести газопламенную, электроискровую и анодно-механическую резку [1].

Сущность газопламенной разделки металла заключается в местном нагреве его выше точки плавления в струе кислорода, при этом сталь расплавляется и частично сгорает. Указанным способом можно разрезать стали всех марок, получая контуры реза сложной формы, при этом в местах разделения металла не образуется острых рёбер, приводящих к заштамповке и зажимам. Недостатками этого способа разделки являются относительно большие потери металла по месту разделки и сравнительно невысокая производительность, а также недостаточно точные размеры получаемых полуфабрикатов.

Способ разделки электроискровой резкой основан на коротком замыкании электрических проводников, при котором металл разрушается пульсирующим током. При использовании этого способа получают ровную и чистую поверхность реза и незначительные отходы. Электроискровая резка является перспективным способом, особенно для сплавов, обладающих повышенной твёрдостью, при резке по сложному контуру. Однако существенными недостатками электроискровой резки являются малая стойкость лагунных электродов (дисков), значительный расход электроэнергии и относительно небольшая производительность.

При анодно-механической резке используют электрический разряд, который применяют для прочных и труднообрабатываемых сплавов, не поддающихся резке обычными способами. Производительность работы при использовании анодно-механического способа примерно такая же, как и при электроискровой резке.

Резка пилами позволяет получить заготовки любой длины с ровным, перпендикулярным к оси прутка срезом, металл можно резать в горячем или холодном состоянии, но этот способ разделки имеет низкую производительность и отличается большой шириной пропилки, т. е. увеличением отходов металла.

Отрезные штампы широко используются в металлообрабатывающем производстве для резки пруткового материала на точные заготовки. В конструкции штампов легко воплотить различные схемы отрезки, встроить новейшие специальные устройства и приспособления, повышающие качество заготовок, предусмотреть регулирование технологических параметров, обеспечить точное дозирование объёма отрезаемых заготовок [2].

Для повышения точности размеров заготовок и качества поверхности среза применяют специальные отрезные штампы, устанавливаемые на кривошипных прессах. Повышенное (в 3...5 раз) число ходов прессов по сравнению с гильотинными ножницами сопровождается увеличением скорости резки, что приводит к уменьшению глубины пластического внедрения и увеличению зоны скола, при этом профиль среза становится ровней, чем при резке прутков на ножницах, но усилие резки несколько увеличивается [2].

**Требования к геометрической точности и виды дефектов отрезаемых заготовок.** Качество отрезаемой от прутка заготовки зависит от совокупности влияющих на отрезку факторов, так как определение «качество отрезанной заготовки» является комплексным понятием, включающим геометрическую точность, состояние поверхности среза и состояние металла в приторцевых зонах.

Геометрическая точность — главный компонент качества заготовки, определяющийся степенью соответствия её формы и размеров идеальному прототипу. Так как при разделительной операции заготовок возникают пластическая деформация и разрушение металла в зоне реза, то отрезка может сопровождаться отклонением размеров и погрешностью формы.

Требования к точности, состоянию приторцевых зон зависят от назначения заготовки. Одним из общих требований к заготовкам всех групп является отсутствие дефектов.

Выделяют две группы дефектов отрезанных заготовок: несоответствие по геометрии

и дефекты поверхности, возникающие на поверхностях торцов и в приторцевых зонах.

Первая группа объединяет несколько видов дефектов, обусловленных нарушением формы, неточностью размеров и массы заготовок.

Геометрическую точность оценивают относительными показателями, которые определяются по результатам измерения заготовки. Искажения формы обнаруживаются в осевом сечении заготовки и в плоскости торца.

Так как при отрезке у заготовок различают передний и задний концы, которые в большинстве случаев неодинаковы по степени точности, то оценку геометрической точности проводят по результатам измерений заднего конца, так как именно на нём сосредоточены наибольшие отклонения. К таким отклонениям от идеальной формы относятся утяжины (продольная или поперечная), овальности и неперпендикулярности торцов и т. д.

Для холодной объёмной штамповки деталей необходимы заготовки, строго дозированные по объёму. Точный объём заготовки можно получить при резке проката точного диаметра на заготовки стабильной, строго выдержанной длины.

**Анализ существующих конструкций штампов, предназначенных для качественной отрезки заготовок.** Типы конструкций штампов для качественной резки прутков можно разбить на две основные группы: штампы с осевым сжатием разрезаемого прутка [2], [3, с. 18—21] и штампы с поддержкой отрезаемой заготовки.

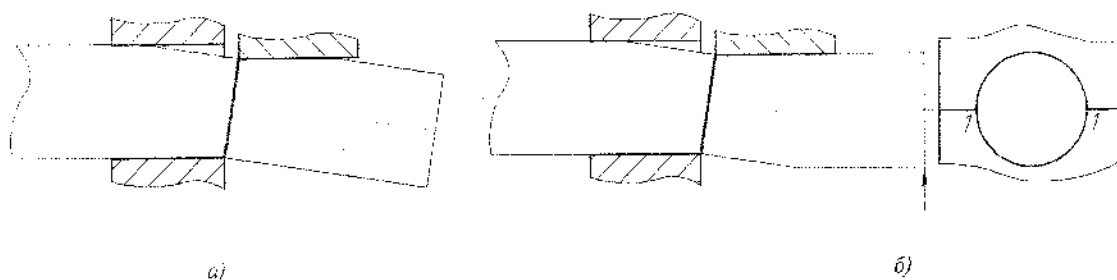
Осевое сжатие разрезаемого прутка до возникновения в нём напряжений текучести обеспечивает в зоне резки объёмную схему напряжений. Это позволяет получать относительно короткие заготовки ( $l/d = 0,2$ ) с параллельными плоскостями среза и без сколов. Однако штампы, применяемые для осуществления этого метода, отличаются сложностью и, соответственно, высокой ценой.

Кроме того, при данном способе резки стойкость инструмента невысокая. Усилиям осевого поджатия отрезаемая заготовка при-

жимается к задней плоскости ножа. В результате на плоскостях ножей выделяется большое количество тепла и свежесрезанный металл приваривается к инструменту. Применение смазки не даёт положительного эффекта, так как в контакт с инструментом всё время входит свежесрезанный торец. Из-за низкой стойкости инструмента резку с осевым сжатием целесообразно применять для получения заготовок из цветных сплавов, например, на основе алюминия и меди.

Поэтому резка в штампе с поддержкой отрезаемой заготовки более целесообразна, так как условия работы инструмента не отличаются от простой рубки, а качество среза значительно выше. Использование радиального усилия позволяет создать предварительное напряжённое состояние в зоне среза, которое стремится компенсировать напряжения, возникающие при рубке в штампах вследствие изгиба отрезаемой части прутка. Как и при обычной рубке, в этом случае прутки режутся только в самом начале, образуя так называемый «блестящий пояс», а затем происходит скол металла. Известно, что скол начинается одновременно от обеих режущих кромок. Далее трещины развиваются и, в случае правильно выбранного зазора между ножами, встречаются в теле прутка, после чего заготовка отделяется от прутка. При совпадении трещин поверхность скола получается ровной, без задигов и местных трещин. Поэтому обеспечение оптимального зазора необходимо для получения качественного среза. Выполнение этого условия при резке профильных прутков является сложной задачей [3, с. 18—21], [4, с. 113—120].

Действительно, в случае резки, например, прутка круглого сечения ножами, повторяющими его профиль (рисунок 1), резка начинается одновременно по всему контуру. При этом фактическая толщина разделяемого материала различна для разных точек сечения. Следовательно, зазор тоже должен иметь различную величину для разных точек сечения. Так, в диаметральной плоскости, перпендикулярной плоскости среза, зазор дол-



а — обычная резка, б — качественная резка с поддержкой отрезаемой заготовки

Рисунок 1 — Схема резки прутка

жен быть максимальным, соответствующим наибольшей толщине, равной диаметру заготовки. Напротив, в точках, обозначенных цифрами 1, срезаемая толщина равна 0. Следовательно, осевой зазор между режущими кромками здесь тоже должен быть равен 0.

В рекомендациях по выбору зазоров, как правило, учитывается только максимальная толщина прутка. Обеспечение постоянного относительного зазора для всего сечения необоснованно считается второстепенным. Понятно, что выполненный по таким рекомендациям штамп не может обеспечить качественный срез, так как относительный зазор в различных точках разрезаемого сечения различен. Уменьшение растягивающих напряжений при этом способе достигается предотвращением начального изгиба заготовки, а учёт развития трещин сводится к обеспечению оптимального осевого зазора между режущими кромками по всему контуру среза. Момент, изгибающий заготовку,  $M_{изг}$  (рисунок 1, б), определяется по формуле

$$M_{изг} = \int_F \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} dF^3 (z + \alpha), \quad (1)$$

- где  $\sigma_s$  — истинный предел текучести;
- $dF^3$  — элементарная площадка среза;
- $z$  — осевой зазор в рассматриваемой точке контура;
- $\alpha$  — относительный осевой зазор.

Как следует из выражения (1), момент  $M_{изг}$  ещё до начала реза отгибает свободный конец заготовки. При этом в зоне реза имеет место пластический изгиб. В результате сечение заготовки сильно искажается, а металл в зоне среза упрочняется. Следовательно, для уменьшения искажения сечения заготовки при рубке необходимо компенсировать изгибающий момент, действующий в зоне среза. Это достигается поддержкой свободного конца заготовки. Поддержка свободного конца может быть осуществлена в штампах с зажимом прутка, во втулочных штампах и в ножевых штампах с поддержкой свободного конца заготовки [3, с. 18—21], [4, с. 113—120].

Для того чтобы предотвратить отгиб свободного конца отрезаемой заготовки, достаточно скомпенсировать изгибающий момент. Это достигается приложением к свободному концу поддерживающего усилия  $P_{рад}$ , направленного навстречу усилию резки (см. рисунок 1, б). Если зазор постоянный, минимальная величина поддерживающего усилия определяется из соотношения

$$P_{рад} = \frac{Q(z + \alpha)}{l}, \quad (2)$$

где  $Q$  — усилие на ноже;

$l$  — расстояние от плоскости среза до точки приложения усилия поддержки.

Развитие трещин при резке сколом начинается одновременно от обеих режущих кромок. Для каждой толщины материала

существует своя минимальная величина зазора, при которой противонаправленные трещины встречаются в теле заготовки, а поверхность среза получается ровной, без вырывов и других дефектов. Величину осевого зазора при прочих равных условиях выбирают в зависимости от механических свойств разрезаемого материала. Установлено, в частности, что с уменьшением твёрдости осевой зазор следует увеличивать, поэтому качество среза на заготовках из материала, упрочнённого калибровкой, выше, чем при использовании горячекатаного проката [2].

Поскольку перпендикулярность торца к оси заготовки представляет больший интерес при штамповке, чем неплоскостность, то необходимо выбирать такой оптимальный зазор, при котором получаются наиболее точная перпендикулярность опорной поверхности торца к оси заготовки и несколько худшее качество поверхности торца [5, с. 12—14].

При выборе оптимального зазора необходимо учитывать, что углы наклона плоскости среза у прутка и у отрезанной заготовки различны. Угол наклона плоскости среза, расположенный в передней части заготовки (срез, образованный при отрезке предыдущей заготовки), меньше, чем угол наклона заднего торца заготовки (торца, который образован при отрезке от прут-

ка данной заготовки). Углы наклона плоскостей среза различны для разных сталей и достигают  $2^\circ$ .

Поскольку чаще всего необходимо, чтобы оба торца были перпендикулярными к оси заготовки, то при резке заготовок надо установить такой осевой зазор между ножами, который бы обеспечивал минимальное отклонение обеих опорных плоскостей торцов отрезанной заготовки от прямого угла, образуемого с осью последней.

При правильно выбранной величине зазора в случае резки в полузакрытом штампе можно получить заготовку с перпендикулярностью торца, не превышающей  $1^\circ$ .

**Схема и принцип действия штампа для качественной резки заготовок.** В данной работе был спроектирован оригинальный полузакрытый штамп (рисунок 2), позволяющий получать качественные цилиндрические заготовки. Штамп для резки пруткового материала содержит корпус 1 с неподвижным ножом 2 и системой радиального зажима прутка 3, состоящей из прижимной полувтулки 4, прижимной пружины 5 и планки 6 с упором 7, и подвижный в корпусе ползун 8 с ножом 9, толкателем 10 каблука-упора 11 радиального поджатия заготовки и возвратного механизма каблука упора 12. На ползуне установлено коромысло 13 с подвижным по его длине

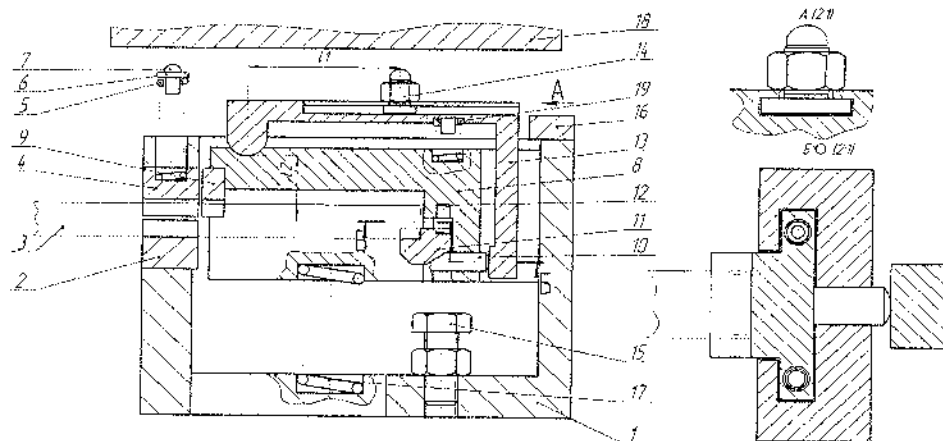


Рисунок 2 — Схема штампа для резки пруткового материала

упором 14. Ход ползуна снизу ограничивается упором 15, вверху — ограничителем 16, а возврат ползуна после отрезки заготовки в исходное положение осуществляется пружиной 17. Возвращение коромысла в исходное положение осуществляется пружиной 19.

Штамп работает следующим образом. Пруток 3 через выемку в неподвижном ноже 2, закреплённом в корпусе 1, и систему радиального зажима подаёт в полость ползуна 8 до упора в каблук-упор 11 и начинают опускать верхнюю плиту пресса 18. Дойдя до упора 7, верхняя плита пресса через планку 6, пружину 5 и прижимную полувтулку 4 зажимает пруток в радиальном направлении за счёт упругой деформации пружины 5. Затем плита пресса воздействует на подвижный упор 14, и это усилие передаётся посредством коромысла 13 на ползун 8, толкатель 10 и каблук-упор 11 радиального поджатия, причём распределение усилий радиального поджатия  $P_{\text{рад}}$  происходит в соответствии с пропорцией

$$P_{\text{рад}} = P_{\text{отр}} \frac{L_1}{L_2}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{отр}}$  — усилие отрезки;

$L_1$  — плечо силы отрезки;

$L_2$  — плечо силы осевого сжатия.

Из анализа выражения (3) следует, что изменение отношения усилия радиального подпора к усилию резки достигается изменением величины  $L_1$  (так как величина  $L_2$  является постоянной для данной конструкции) посредством изменения точки приложения силы  $P$ , т. е. перемещением хвостовика 12 по длине коромысла  $L_1$ .

После отрезки заготовка удаляется из штампа на провал. При ходе плиты пресса

вверх пружина 17 возвращает ползун 8 в исходное положение, определяемое ограничителем 16, и процесс повторяется.

**Заключение.** Из анализа конструкции данного штампа следует вывод о том, что, зная механические характеристики пруткового материала, можно существенно упростить настройку штампа (по сравнению с известными конструкциями) путём изменения точки приложения усилия радиального подпора.

Таким образом, приведённая конструкция штампа обеспечивает получение заготовок достаточно высокого качества для процессов холодного выдавливания высокоточных деталей.

#### Список цитируемых источников

1. *Сторожев, М. В.* Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. — М.: Машиностроение, 1977. — 278 с.: ил.
2. *Соловцов, С. С.* Безотходная резка сортового проката в штампах / С. С. Соловцов. — М.: Машиностроение, 1985. — 176 с.
3. *Алифанов, А. В.* Оптимизация процесса рубки в штампах точных заготовок из прутка / А. В. Алифанов, А. М. Милюкова, Л. Л. Сотник // *Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: высокие технологии, экономика, промышленность: сб. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф., СПб., 24—26 мая 2012 г. / под ред. А. П. Кудинова.* — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — С. 18—21.
4. *Оленин, Л. Д.* Резка заготовок с частичной компенсацией растягивающих напряжений / Л. Д. Оленин, Д. И. Дериволков, Л. С. Галкина // *Совершенствование процесса объёмной штамповки / Л. Д. Оленин.* — М.: Машиностроение, 1977. — С. 113—120.
5. *Покровский, Б. И.* Улучшение плоского перпендикулярного торца при резке заготовок в полузакрытых штампах / Б. И. Покровский // *Кузнечно-штамповочное пр-во.* — 1972. — № 1. — С. 12—14.

Материал поступил в редакцию 27.03.2013 г.

The paper presents a method of getting high-quality intermediates in semienclosed punch with adjustable radial support of the free intermediate end. Experimental punch accessories for getting high-precision cylindrical intermediates suitable for further cold extrusion without improvement after the separation action are described in details. Recommendations for the calculation of applied radial force are given.