

## СВЕРХСКОРОСТНАЯ ШТАМПОВКА-ВЫТЯЖКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

*Р. В. Пахтовников*

XX съезд КПСС особо подчеркнул необходимость резкого повышения производительности труда на базе новой более совершенной техники.

Повышение производительности труда неразрывно связано с ускорением технологических процессов. Интенсификация технологических процессов осуществляется как за счет применения быстродействующих машин и орудий, так и за счет создания новых технологических процессов, позволяющих за меньшее время изготавливать те или иные детали. Ускорение технологических процессов зачастую приводит не к усложнению, а к упрощению конструкций машин, орудий и приспособлений, а также, как правило, вызывает значительное улучшение качества изделий.

Эти факторы наравне с факторами увеличения производительности труда являются также немаловажными, так как в стоимость детали входит и стоимость тех орудий и средств производства, которые применяются при изготовлении этой детали. А благодаря упрощению конструкции машин их цена снижается, что влияет и на снижение стоимости изготавливаемой детали.

Рабочие и инженерно-технический персонал Советского Союза уже достигли больших успехов в создании и развитии скоростных технологических процессов. В частности, в металлообрабатывающей промышленности много сделано для ускорения механической обработки металлов резанием. Движение скоростников — токарей, фрезеровщиков и других — получило широкое распространение. Но не во всех технологических процессах металлообрабатывающей промышленности работы по изысканию более интенсифицированных процессов производятся с одинаковым успехом. Наиболее экономичный и перспективный вид металлообработки — обработка давлением — сильно отстал в этом отношении.

Причиной недостаточной интенсификации процессов обработки давлением является кажущийся предел применяемых скоростей обработки. Обработчикам давлением кажется, что они уже подошли в этом отношении к пределу и что при большем увеличении скорости обработки давлением металл начинает терять пластичность, становится более хрупким и даже оказывается невозможным получение качественных изделий. Наиболее ярко предельные скорости обработки выявляются при производстве изделий из листового металла способом холодной штамповки, весьма распространенным в машиностроении.

Принципиальная схема этого процесса показана на рисунке 1. В отверстие матрицы пуансон вдавливают плоскую заготовку из тонкого листового металла, превращая ее в объемное изделие. В про-

цессе вдавливания в заготовке возникают усилия, вызванные сопротивлением деформированию фланца заготовки  $P_x$ , перегибом заготовки вокруг протяжного ребра матрицы  $P_r$  и силами трения, характер которых различен на фланце  $P_{т.ф.}$  и протяжном ребре матрицы  $P_{т.р.}$ .

Наиболее нагруженным элементом является сечение  $a-a$ , и в этом месте заготовка рвется в том случае, если коэффициент вытяжки  $K$ , то есть отношение радиуса заготовки  $R$  к радиусу пуансона  $r$  слишком велик — выше норм, узаконенных расчетом и практикой, или недостаточна смазка, или скорость штамповки выходит за пределы, установленные практикой. Эти скорости при коэффициентах вытяжки, близких к предельным ( $K=1,8+2,2$ ), не должны превышать порядка  $0,2 \div 0,3$  м/сек, а при сложных видах штамповки — еще меньше. Только в

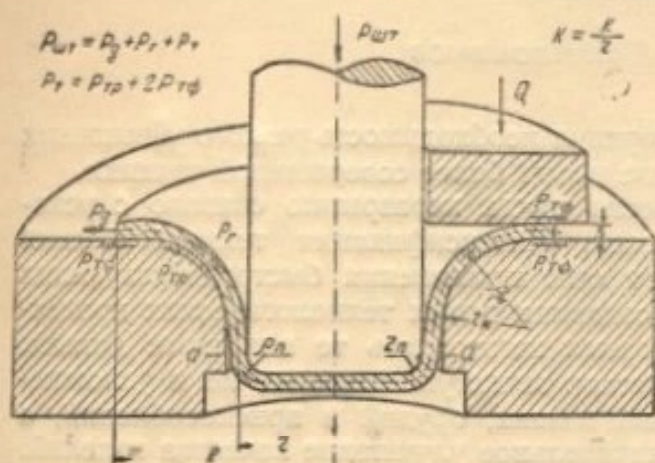


Рис. 1.

лабораторных условиях профессору В. Т. Мещерину (Московский станко-инструментальный институт) удалось получить качественные изделия при скорости штамповки 2—4 м/сек.

Ограничения в скоростях перемещения пуансона, установленные для процесса холодной штамповки листового металла, вызвали применение тихоходного оборудования с низкой производительностью труда и затормозили дальнейшее развитие интенсифицированных процессов.

Но есть ли смысл в настоящее время ставить вопрос об увеличении скоростей штамповки при наличии больших, еще не использованных резервов производительности труда на тихоходном оборудовании? Не лучше ли уделить больше внимание вопросам сокращения подготовительно-заключительного времени при наладке штампов, более высокой автоматизации существующих процессов и т. д.?

Эти вопросы необходимо решать возможно быстрее, тем более, что их разрешение особой трудности не представляет.

Осуществление скоростной и сверхскоростной штамповки — дело ближайшего будущего. Следует уже теперь уяснить, насколько серьезными препятствиями этому являются установившиеся ограничения скоростей, перемещения пуансона, тем более, что исследования поведения металла при больших скоростях нагружения показывают явное несоответствие между поведением металла при реальных технологических процессах, где металл становится как бы более хрупким, и поведением металла при элементарных испытаниях его механических качеств. В частности, многочисленные испытания на скоростной разрыв [1] показали, что с увеличением скорости нагружения пластичность металла, определяемая для процесса растяжения величиной действительной деформации в момент образования шейки, практически почти не меняется. Даже при очень больших скоростях деформации не удалось обнаружить сколь угодно существенного изменения пластичности металла. Конечно, здесь речь идет только о группе металлов, хорошо поддающихся обработке давлением. С увеличением скорости растяжения образца растет его сопро-

тивление деформированию. Но это увеличение весьма незначительно. При скоростях деформации порядка тысяч единиц за секунду сопротивление деформированию, то есть предел текучести, возрастает не более чем в два раза, и можно считать оправдавшей себя на практике логарифмическую зависимость предела текучести от скорости деформации, в свое время предложенную еще Прандтлем.

$$\sigma_d = \sigma_c + a \ln \dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_c,$$

где  $\sigma_d$  — «динамический» предел текучести,

$\sigma_c$  — «статический» предел текучести,

$a$  — коэффициент, зависящий от физических свойств испытываемого металла,

$\dot{\epsilon}_c$  — «статическая» скорость деформации,

$\dot{\epsilon}_d$  — «динамическая» скорость деформации.

При скоростных испытаниях на сжатие наблюдается даже повышение пластичности металла, что совершенно естественно, так как при большой скорости процесса сжатия тепло, получаемое образцом, не успевает рассеиваться, а с повышением температуры повышается и пластичность.

Но если элементарные испытания поведения металла при скоростном растяжении и сжатии дают довольно положительные результаты и из них нельзя сделать вывод о невозможности создания скоростных процессов обработки металлов давлением, то почему же в реальных технологических процессах мы имеем как бы потерю металлом пластичности? Очевидно, здесь действуют какие-то иные факторы, визуально не наблюдаемые, и которые можно выяснить только с помощью более тонкого эксперимента.

Поэтому была поставлена задача исследовать поведение металлов при обработке его давлением, имитируя какой-либо реальный технологический процесс.

Наиболее подходящей для таких испытаний оказалась холодная штамповка листового металла. В этом процессе дно заготовки испытывает напряжение растяжения приблизительно линейной схемы, а фланец — комбинацию напряжений: сжатия и растяжения. Для производства опытов была создана специальная установка (см. рис. 2).

Взрыв пороховых газов развивал скорость снаряда — пуансона до 300 м/сек, что во много раз превышало скорость производственного пресового оборудования.

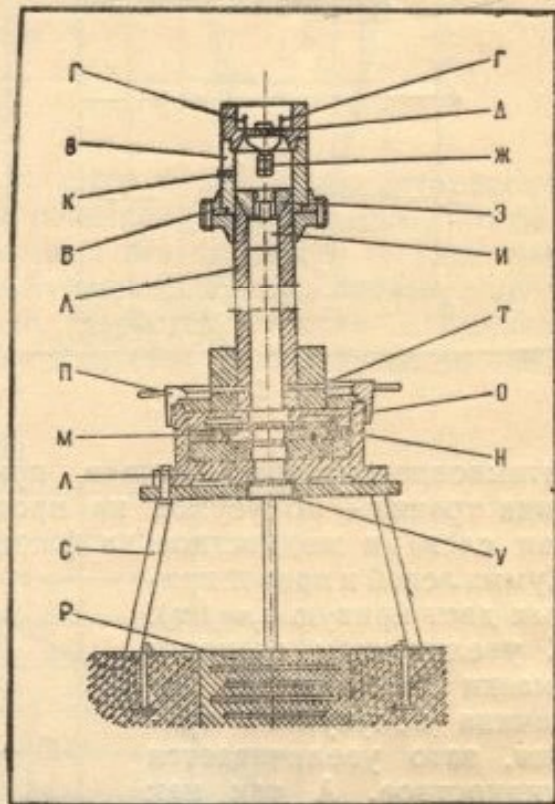


Рис. 2.

А — цилиндр; Б — фланец; В — камера сгорания; Г — контакты запала; Д — крышка; Ж — пороховой заряд; З — пуансонодержатель; И — пуансон; К — датчик давления газов; Л — корпус матрицы; М — протяжное кольцо матрицы; Н — складнодержатель; О — пневматическая подушка складнодержателя; П — гайка матрицы; Р — приемник амортизатора; С — стойка; Т — отверстие для сброса газов; У — емкостный датчик скорости.

Первые опыты оказались неудачными. Донышко заготовок вырывало, хотя при макроскопических исследованиях не удавалось обнаружить хрупкого обрыва. Обрыв всегда был пластичным и создавалось впечатление, что фланец заготовки как будто задерживает какая-то сила под прижимным кольцом. Какая же это могла быть сила? Давление прижимного кольца не превышало применяемого при обычной — „статической“ штамповке. Коэффициент вытяжки брался также обычным, при котором детали легко штампуются в производственных условиях. Следовательно, единственными силами, задерживающими фланец заготовки, могли быть только силы трения.

В 1949 г. Е. И. Исаченко [2] экспериментально доказал применимость к процессу штамповки гидродинамической гипотезы смазки. Эти эксперименты заслуживали самого серьезного внимания, и когда автору удалось разработать теорию смазки при штамповке-вытяжке, то проверка этой теории на громадном диапазоне скоростей, значительно большем чем при опытах Е. И. Исаченкова, подтвердила последнее предположение о гидродинамическом характере трения на фланце заготовки при глубокой

штамповке-вытяжке. Точнее, при штамповке-вытяжке имеются два вида трения — полусухое на протяжном ребре матрицы (рис. 3, кривая слева) и жидкостное на фланце заготовки (рис. 3, кривая справа). Сумма левой и правой кривых дает кривую  $\sigma_r = f(\eta)$ . С увеличением вязкости смазки уменьшается величина полусухого трения, зато увеличивается жидкостное. А так как жидкостное трение является функцией не только вязкости смазки  $\eta$ , но и скорости смещения трущихся поверхностей, то для каждой скорости штамповки  $v$  существует оптимальная вязкость смазки (рис. 3 — минимум результирующей кривой), при которой напряжение  $\sigma_r$ , вызванное силами трения, не превосходит нормальных, имеющих место при производственной статической штамповке.

На рисунке 4 представлен ряд экспериментальных кривых, построенных по типу рисунка 3, но для различных скоростей штамповки. Если

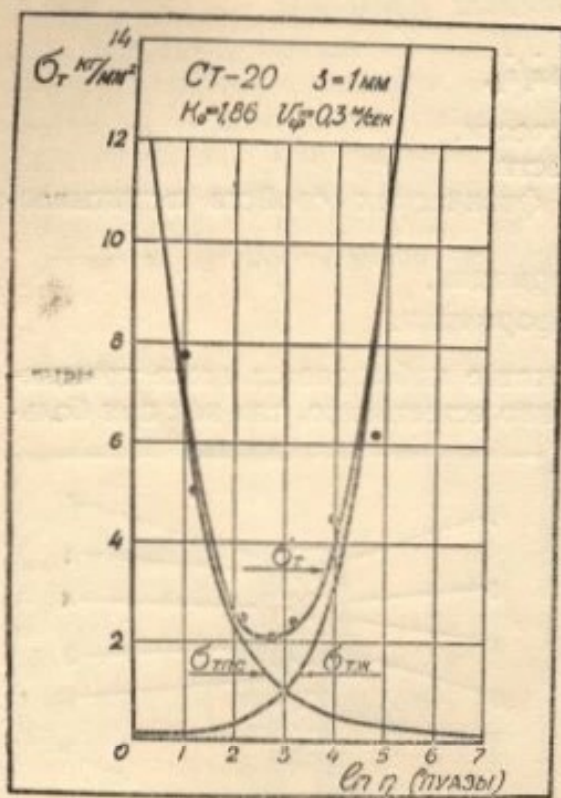


Рис. 3.

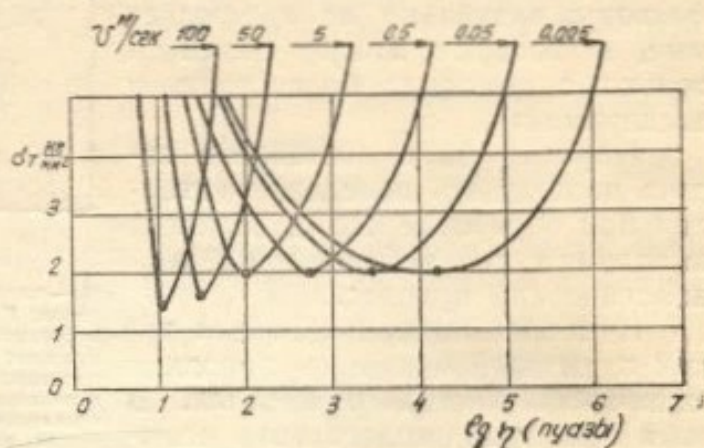


Рис. 4.

Если

смазка вязкостью в 1000 пуаз удовлетворительна для скоростей штамповки до 0,5 м/сек, то для скорости в 5 м/сек она уже увеличивает силу трения приблизительно в 1,5 раза, а для скорости в 50 м/сек вообще неприменима, так как вызывает резкий рост сил трения.

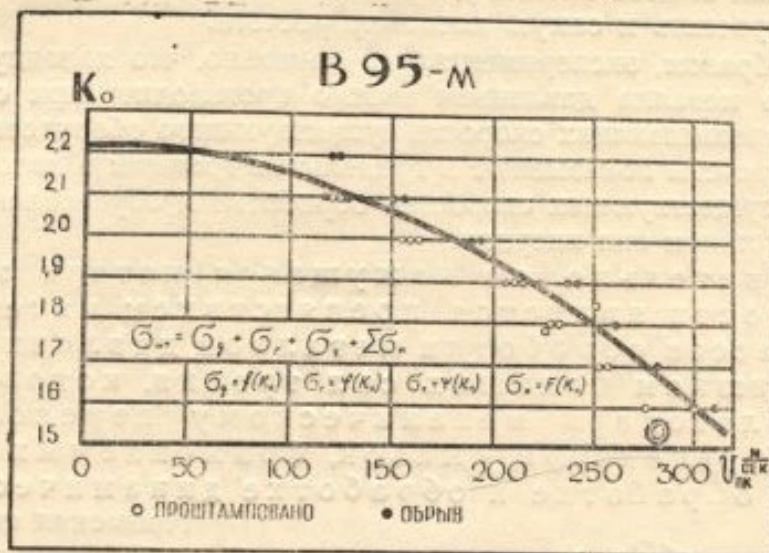


Рис. 5.

Применение смазки оптимальной вязкости к опытам по штамповке с помощью снаряда — пуансона сразу показали хорошие результаты: детали начали штамповаться без обрывов и без заметного уменьшения коэффициента вытяжки, являющегося функцией усилия, действующего в «опасном» сечении  $a-a$  (рис. 1), до скоростей порядка 100 м/сек (рис. 5). После этого коэффициент вытяжки стал уменьшаться за счет возрастания сил инерции.

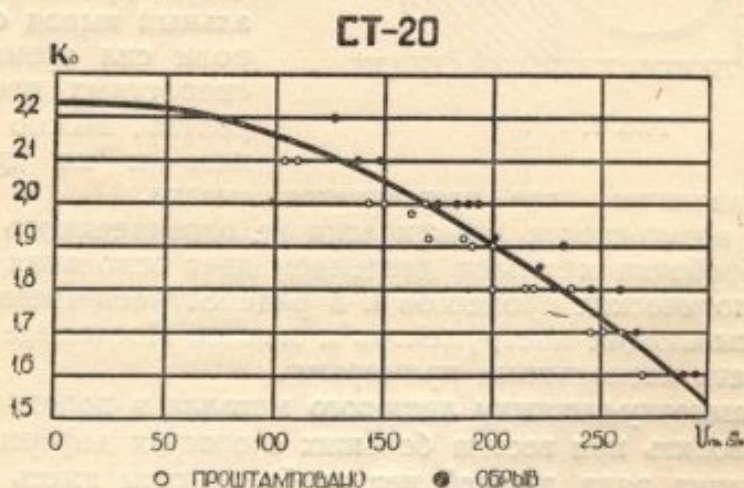


Рис. 6.

Влияние сил инерции особенно видно при сравнении результатов сверхскоростной штамповки заготовок из материалов В-95-М и Ст. 20 (рис. 5 и 6). Их штампуемость примерно одинакова. Зато удельные веса разнятся почти в 3 раза.

При штамповке со скоростью 250 м/сек получено для В-95-М  $K=1,8$ , а для Ст. 20 меньшее  $K=1,73$ .

Все эти факторы — влияние сил трения, сил инерции и незначительного повышения предела текучести материала при больших скоростях деформации поддаются математической интерпретации, с помощью кото-

рой можно заранее сказать, при каких скоростях и какие коэффициенты вытяжки будут при этом получаться.

Расчетные формулы оказались довольно сложными, но сходство их с результатами опытов вполне удовлетворительно, а в дальнейшем будет возможно упростить и самую методику расчета.

Таким образом, экспериментально доказано, что холодную обработку листового металла давлением можно производить при скоростях, в тысячу раз превышающих скорости существующего оборудования. А теоретические расчеты показывают и предельные границы в несколько тысяч раз больше существующих скоростей обработки и обусловленные исключительно действием сил инерции.

Следовательно, не кажущаяся потеря металлом пластичности является препятствием интенсификации процессов обработки металлов давлением, а создание слишком больших сил трения, которые образуются благодаря механическому переносу существующей рецептуры смазок, применяемых при статической обработке к обработке динамической.

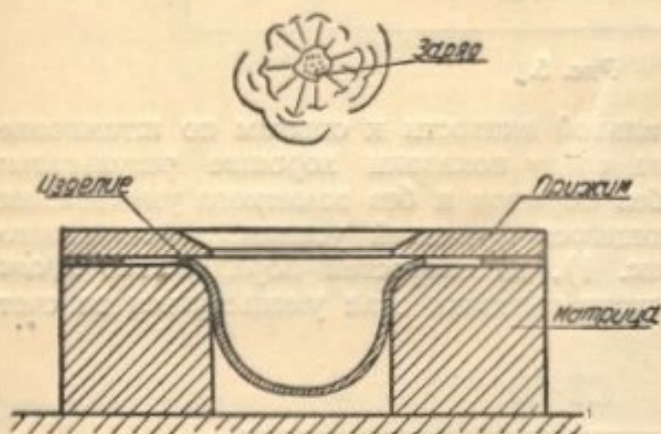


Рис. 7.

обработки давлением, где применяется смазка.

Вывод о возможности практически не ограниченного увеличения скоростей обработки металлов давлением дает основания к созданию новых технологических процессов и в ряде случаев чрезвычайно простых обрабатывающих инструментов и машин. Последнее можно проиллюстрировать несколькими примерами.

Если штамповку-вытяжку листового металла в холодном состоянии можно производить при весьма больших скоростях деформирования, то для изготовления ряда деталей нет необходимости иметь специальные прессы. Можно осуществить так называемую штамповку взрывом, то есть штамповать давлением взрывной волны. Схемы взрывной штамповки указаны на рисунке 7.

Опыты производились с аммонитом — очень дешевым бризантным взрывчатым веществом.

Особо эффективны взрывы в жидкой среде, где можно создавать импульс не обязательно взрывчатым веществом, но и другими способами, например, электрическим разрядом [3].

Установка для взрывной штамповки чрезвычайно проста — одна матрица с прижимной планкой, в момент взрыва работающей как глухой прижим.

Применяя смазки оптимальной вязкости для скоростной штамповки, можно устранить резкое возрастание сил трения и таким образом снять это препятствие для развития сверхскоростных методов холодной обработки листового металла давлением.

Полученный принципиальный вывод о решающей роли сил трения в сверхскоростных процессах, вероятно, можно распространить и на другие виды

Если горячую штамповку возможно осуществить при неограниченных скоростях деформирования, то можно сильно упростить конструкцию кузнечного молота. В настоящее время ряд технологических процессов требует колоссальной энергии удара. Энергия удара квадратично зависит от скорости перемещения деформирующего элемента и линейно — от его массы. У существующих молотов скорость весьма мала, порядка 5—12 м/сек. Поэтому для создания большей энергии удара вынуждены применять очень большие массы, и в результате кузнечный молот вырастает в гигантское сооружение. Но если металл допускает неограниченные скорости обработки, то не лучше ли использовать квадратичную зависимость энергии от скорости? Тогда возможно создание весьма экономичных, компактных кузнечных молотов, в том числе и бесшаботных, обладающих колоссальной энергией удара.

Эти примеры говорят о широких перспективах применения скоростных методов обработки давлением, хотя для этого потребуется еще очень большая исследовательская работа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Кузнецов. Физика твердого тела, т. V, Томск, 1949.
  2. Е. И. Исаченков. Влияние трения и смазки на утонение материала при глубокой вытяжке, Вестник машиностроения, 1951, № 1.
  3. А. Л. Юткин. Электрогидравлический эффект, Машгиз, 1955.
-