

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ШТАМПОВКИ-ВЫТЯЖКИ

В. Н. Ревин

В последние годы удельный вес глубокой штамповки-вытяжки в производстве значительно вырос. Известная простота этого технологического процесса, дешевизна изделий, наличие в конструируемых машинах огромного количества деталей, требующих для их изготовления применения глубокой вытяжки, — все это способствовало широкому внедрению в производство глубокой штамповки-вытяжки. Широкое применение в производстве процессов штамповки дает возможность значительно снизить себестоимость продукции. Очевидно, что изготовление детали сложной пространственной конфигурации за один рабочий ход пресса или молота без переналадки оборудования имеет большой экономический эффект.

Однако при глубокой вытяжке листового материала в инструментальном штампе технологи наталкиваются на ряд трудностей, вызванных невозможностью получения в обычных производственных условиях коэффициента вытяжки $K > 1,7 - 1,9$ за один технологический переход. Поэтому для изготовления деталей, требующих глубокой вытяжки, приходится применять многопереходную штамповку или изменить конструкцию детали (делаются технологические разъемы, требующие затем сварки, клепки и т. д.). Все это, естественно, значительно увеличивает стоимость детали, удорожает производство.

В настоящее время делаются попытки внедрения в серийное производство штамповки-вытяжки с подогревом. Этот технологический процесс позволяет получить детали с $K > 2,0$. Сущность процесса заключается в интенсивном подводе тепла в зону матрицы и охлаждении пуансона водой (рис. 1). Благодаря нагреву матрицы и заготовки до температуры порядка $320-400^\circ\text{C}$ материал заготовки размягчается, сопротивление

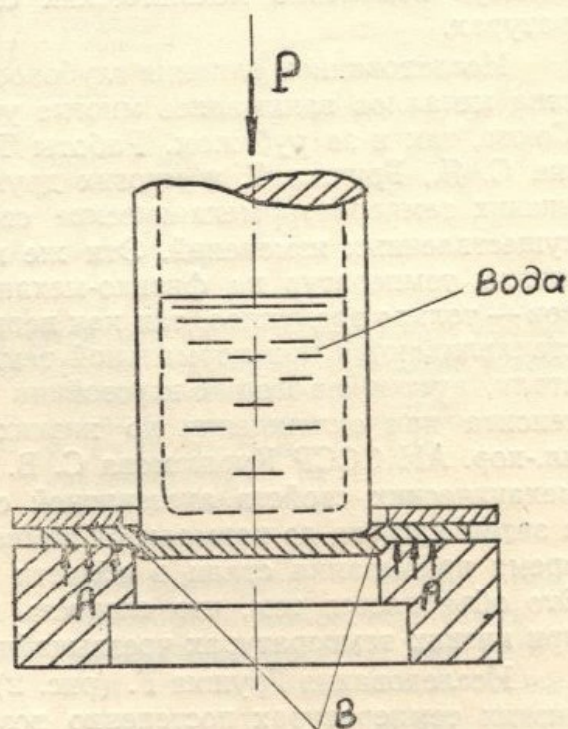


Рис. 1. А — подвод тепла; В — зона разрушения деталей.

пластическому деформированию заготовки уменьшается и поэтому имеется возможность несколько снизить напряжения в зоне разрушения детали, лимитирующие получение больших коэффициентов вытяжки.

Однако широкому внедрению в серийное производство этого технологического процесса препятствует ряд серьезных недостатков:

1. Нагрев заготовки и сопутствующий ему нагрев массивной матрицы требует подвода очень большого количества тепла и длится продолжительное время.

2. Значительно усложняется конструкция штампа.

3. Быстрый выход из строя основных деталей штампа вследствие изменения механических свойств их материала (матрица, прижим).

4. Чрезвычайная сложность применения подогрева при штамповке сталей (особенно нержавеющей и жаропрочных) благодаря необходимости разогрева заготовки до 600—850°C, что приводит к резкому снижению стойкости инструмента и появлению структурных изменений в штампуемом металле.

Все вышесказанное заставляет технологов искать новые способы штамповки листовой стали, позволяющие получить за один переход $K > 2,0$.

Кафедра технологии ХАИ попыталась решить данный вопрос, используя изменение механических свойств металлов при низких температурах.

Исследованием влияния глубокого охлаждения на механические свойства металлов занимались многие ученые и инженеры как в Советском Союзе, так и за рубежом. Работы Тулякова А. П., Беляева С. Е., Герша С. Я., Грушка Г. и многих других показали, что под воздействием низких температур механические свойства металлов претерпевают ряд существенных изменений. Эти же исследования показали, что влияние низких температур на физико-механические свойства металлов и сплавов — только временное, так как первоначальные свойства полностью восстанавливаются при нормальной температуре. Исключения представляют стали, аустенит которых неустойчив и распадается с образованием мартенсита при охлаждении до низких температур. Однако исследования чл.-кор. АН СССР Курдюмова С. В. показали, что остаточное изменение механических свойств аустенитной стали после глубокого охлаждения, а затем нагрева до нормальной температуры будет незначительным, если время пребывания стали в области низких температур было недолгим. Это объясняется тем, что скорость изотермического распада аустенита при низких температурах чрезвычайно мала.

Исследования Грушка Г. (рис. 2) показали, что прочность стали при низких температурах постепенно возрастает, причем процентное содержание отдельных элементов по-разному влияет на ее изменение. Так, временное сопротивление стали при низких температурах увеличивается пропорционально увеличению содержания углерода. Наличие никеля при той же прочности улучшает способность стали к деформированию при глубоком охлаждении.

Удлинение при охлаждении до некоторых низких температур у сталей, как правило, изменяется мало. И только при температурах — 130° ÷ — 150° наблюдается его резкое снижение.

Результаты исследований инженера Тулякова А. П., касающиеся поведения механических свойств сталей при низких температурах, приводят к выводу, что с понижением температуры испытания предел упру-

гости, предел пропорциональности, модуль упругости и временное сопротивление во всех металлах возрастают. До температуры — 80° это возрастание идет сравнительно слабо, а затем наблюдается резкое возрастание всех указанных параметров.

Удлинение углеродистых и никелевых сталей вначале охлаждения несколько возрастает, а затем резко падает. Относительное сужение при понижении температуры металла практически остается неизменным, и только в области очень низких температур наблюдается его резкое снижение.

Ниже (табл. 1) приводятся данные исследований инженера А. П. Тулякова.

Как было указано выше, получение штампованных изделий с $K > 2$ в обычных условиях однопереходной штамповки инструментальным штампом невозможно. Анализируя изменение механических свойств сталей, кафедра технологии ХАИ пришла к выводу, что необходимый перепад пластичности между зоной ребра матрицы и зоной ребра пуансона для получения $K > 2$ можно постичь путем охлаждения пуансона до температур порядка — 180 — 200°.

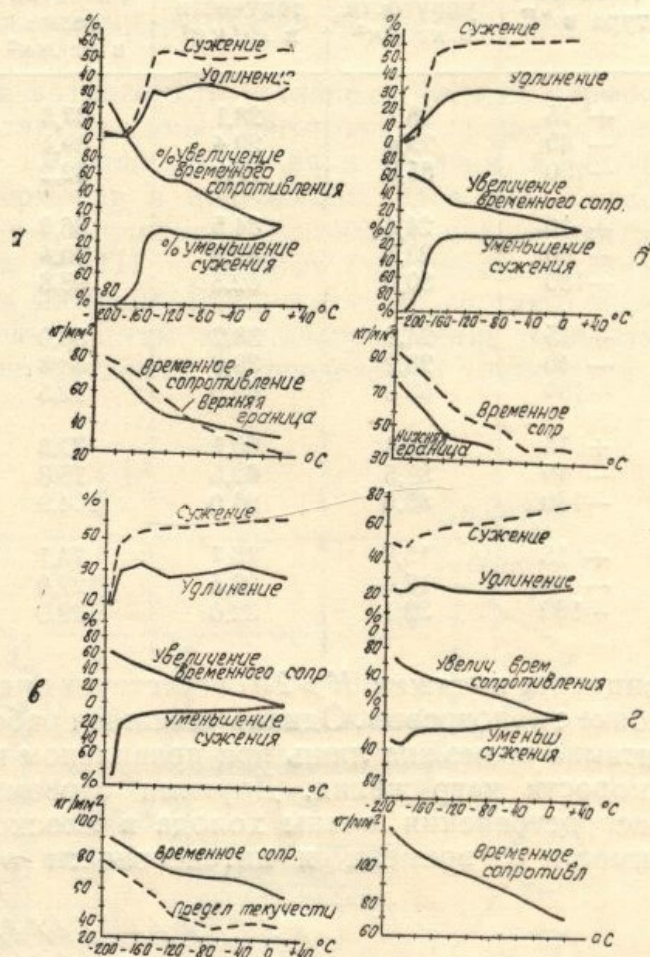


Рис. 3 — а, б, в, г. Изменение механических свойств стали при низких температурах (опыты Грушка). Кривые показывают отношение к нормальным величинам при +20°.
 а — углеродистая сталь — C = 0,02;
 б — углеродистая сталь — C = 0,2;
 в — никелевая сталь — Ni = 3,08;
 г — никелевая сталь — Ni = 5,13.

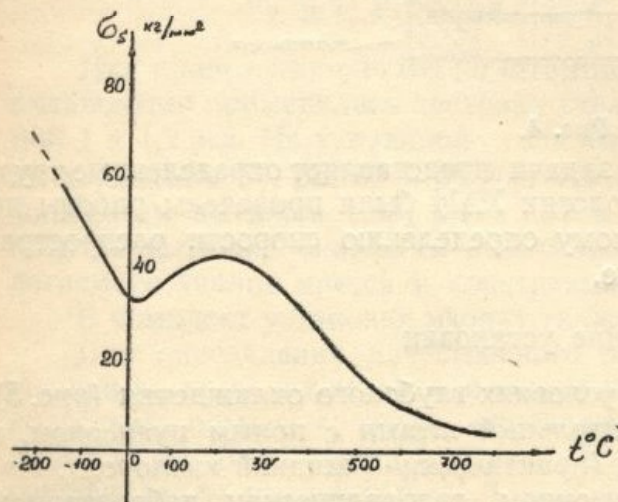


Рис. 3. График $\sigma_s = t (f.)$ Никелевая сталь.

Действительно, если при штамповке никелевой стали с подогревом до $t = +800^\circ$ перепад пластичности $\Delta\sigma = 20 \text{ кг/мм}^2$ (рис. 3), то при охлаждении заготовки в зоне пуансона до $t = -150^\circ$ можно получить перепад пластичности $\Delta\sigma = 28 \text{ кг/мм}^2$ и больше.

Такой вид глубокой штамповки-вытяжки возможно осуществить при следующей схеме инструментального штампа (рис. 4).

При этом способе штамповки возможно получение коэф-

Таблица 1

Температура в °С	Предел упругости в кг/мм ²	Предел текучести в кг/мм ²	Временное сопротивление в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Марка стали
+ 15	28,1	28,1	37,8	30,0	Углеродистая сталь А C = 0,11%
- 40	29,4	29,4	39,1	38,0	
-180	55,8	77,9	82,2	2,0	
+ 15	24,4	34,5	66,9	18,1	Прокатанная никелевая сталь
- 40	23,1	31,8	70,4	18,6	
-180	50,0	62,5	98,8	19,8	
+ 15	24,2	38,2	58,9	19,8	Отожженная никелевая сталь
- 40	28,2	39,8	63,8	22,5	
-180	53,9	68,0	92,5	23,9	
+ 15	52,4	60,1	72,8	18,2	Улучшенная никелевая сталь
- 40	57,5	62,6	75,8	17,9	
-180	85,6	94,0	104,9	20,0	
+ 15	15,8	26,7	73,1	57,3	Нержавеющая сталь
- 40	17,4	29,5	127,0	50,5	
-180	32,1	32,0	139,0	12,5	

коэффициента вытяжки $K > 2$ и отсутствует ряд недостатков, присущих штамповке с подогревом. Однако успешная работа по приведенной выше схеме штампа возможна лишь при правильном выборе режимов охлаждения и скорости нагружения. Другими словами, необходимо знать скорость распространения волны холода в плоской листовой заготовке в зависимости от времени и интенсивности охлаждения пуансона. Точное

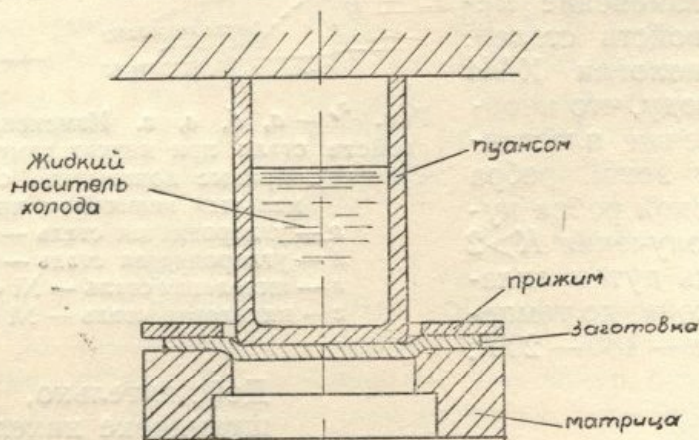


Рис. 4.

теоретическое решение указанной задачи представляет определенные трудности. Поэтому на кафедре технологии ХАИ были проведены работы по приближенному экспериментальному определению скорости распространения волны холода по заготовке.

Описание установки

Установка для штамповки в условиях глубокого охлаждения (рис. 5) представляет обычный инструментальный штамп с полым пуансоном, в который подается жидкий воздух (практически — жидкий кислород). Нагружение производится в пятитонном гидравлическом лабораторном прессе. Штамп снабжен винтовым прижимом с резиновой прокладкой

для предотвращения возможного складкообразования заготовки при вытяжке. К пуансону подводятся две трубки 10×12 — одна с воронкой для заливки жидкого воздуха и другая для дренажа полости пуансона.

Диаметр пуансона 26 мм, штамп рассчитан на работу при максимальной силе 7—8 т.

В штампе предусмотрена возможность установки четырех термопар для замера температур в различных зонах заготовки в процессе штамповки. Для этого в матрице имеются сверления и канавки, в которые помещаются спаи четырех термопар и подводятся проводы. Канавки и сверления имеют асбестовую изоляцию. Термопары подсоединяются к четырем пирометрам завода ВОТИ, с которых снимаются показания температуры в четырех точках матрицы. Ввиду плотного контакта между матрицей и заготовкой в процессе штамповки распределение температур по заготовке считалось соответствующим распределению температур на матрице.

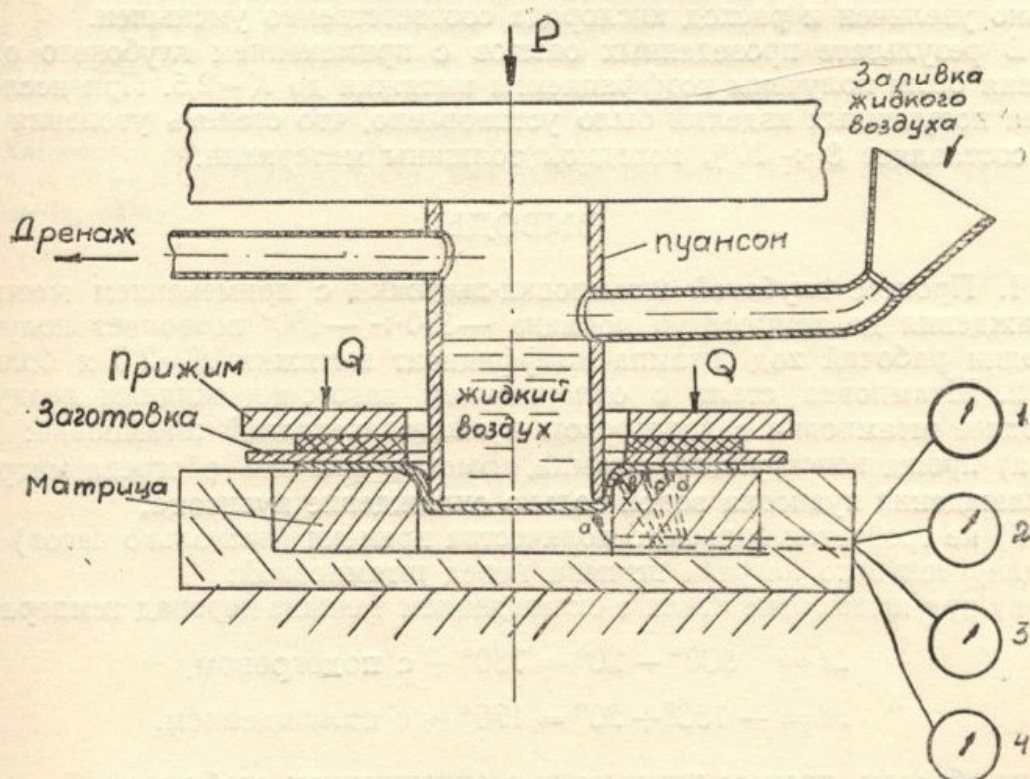


Рис. 5. Схема штампа. P — усилие прессы; Q — усилие прижима; 1, 2, 3, 4 — пирометры; a, b, c, d — термопары.

Для проведения опытов по штамповке в условиях глубокого местного охлаждения применялась листовая сталь Ст. 10, Ст. 20, Я1 и Я1Т толщиной 1 и 1,2 мм. Из указанной стали были приготовлены круглые заготовки диаметром 50, 55, 60 и 65 мм, что соответствовало возможным коэффициентам вытяжки 1,93; 2,12; 2,32 и 2,5. Получение больших коэффициентов вытяжки оказалось невозможным из-за недостаточности располагаемого усилия прессы и конструкции штампа.

В комплект установки входят также сосуды Дюара емкостью 15 и 1 л. Для определения качественного влияния местного глубокого охлаждения на пресс штамповки-вытяжки на описанной выше установке были проведены опыты с целью определения максимального коэффициента вытяжки без охлаждения и смазки. В результате опытов были получены коэффициенты вытяжки $K=1,8 \div 1,9$. При дальнейшем нагружении происходил разрыв образца в зоне перегиба образца на пуансоне.

Перед экспериментом с применением глубокого охлаждения были проведены опыты по распределению температур по заготовке с целью определения времени, необходимого для охлаждения заготовки в зоне пуансона. Для этого пуансон заполнялся жидким воздухом и по показаниям пирометров определялась температура в различных точках заготовки. При достижении через 0,5+1,0 мин. после заливки жидкого воздуха на заготовке в зоне ребра производилось нагружение прессы и деформирование заготовки. В это время температура в зоне матрицы была +10°, +15°.

Для успешного проведения экспериментов требовалось непрерывное энергичное охлаждение пуансона, что достигалось обильной подачей жидкого воздуха в полость пуансона. Расход жидкого воздуха на производство одного опыта составлял примерно 0,2 л. При соответствующем усовершенствовании штампа и питающих устройств (введение хорошей теплоизоляции) коэффициент использования холода может быть значительно увеличен и расход кислорода соответственно уменьшен.

В результате проведенных опытов с применением глубокого охлаждения были получены коэффициенты вытяжки до $K=2,5$. При исследовании полученных изделий было установлено, что степень утонения стенок составляет 8 ÷ 10% исходной толщины материала.

ВЫВОДЫ

1. Процесс глубокой штамповки-вытяжки с применением местного охлаждения до температур порядка $-150 \div -180^\circ$ позволяет получить за один рабочий ход штампа коэффициент вытяжки $K=2,5$ и больше.

2. Штамповка стали с охлаждением заготовки жидким воздухом выгоднее штамповки с подогревом и многопереходной штамповки:

а) проще конструкция штампа. Вместо системы обогрева матрицы и охлаждения пуансона водой только охлаждение пуансона;

б) не требуется большого количества времени (несколько часов) для предварительного нагрева штампа перед штамповкой;

в) при штамповке стали с охлаждением меньше перепад температур:

$$\Delta t = 800^\circ - 20^\circ = 780^\circ \text{ — с подогревом,}$$

$$\Delta t = -150^\circ + 20^\circ = 170^\circ \text{ — с охлаждением.}$$

Таким образом, процесс штамповки с охлаждением стабильнее;

д) нет роста кристаллов в материале заготовки из-за нагрева ее до высоких температур. Поэтому при нагреве изделия после охлаждения до окружающей температуры полностью восстанавливаются первоначальные механические свойства материала и не требуется, в связи с этим, дополнительная термическая обработка.

Этим не исчерпываются все преимущества штамповки-вытяжки с применением глубокого охлаждения.

Большой практический интерес представляет факт перераспределения толщин стенок отштампованного изделия. При штамповке с охлаждением сталей 10, 20, Я1Т и Я1 утонение стенок стаканов в зоне гибочного ребра пуансона в 2 раза меньше, чем при обычной штамповке. При этом наблюдается более равномерное распределение утонений. Как показывают опыты, путем регулирования подачи охлаждающей жидкости можно получить желательное распределение толщин стенок штамповки.

Таким образом, применение процесса штамповки с глубоким охлаждением заготовки позволяет производить вытяжку ряда сталей с большими коэффициентами вытяжки, получая при этом более рациональное

распределение утонений стенок изделия, что невозможно при использовании существующих процессов штамповки.

Недостатком данного процесса является нецелесообразность штамповки цветных сплавов на основе алюминия, меди и т. д., механические свойства которых под воздействием низких температур изменяются незначительно.

Решения XX съезда Коммунистической партии Советского Союза мобилизуют работников нашей промышленности на борьбу за дальнейший технический прогресс. Использование описанного процесса дает возможность интенсифицировать штамповочное производство при обработке листовой стали и получать изделия высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Я. Герш. Глубокое охлаждение. Советская наука, ч. II, 1949.
2. Я. Б. Фридман. Механические свойства металлов. Оборонгиз, 1952.
3. С. Е. Беляев. Механические свойства авиационных металлов. Оборонгиз, М., 1940.
4. А. П. Туляков. Механические свойства металлов при низких температурах. Ж. «Химическое машиностроение», 1935 гг. №№ 1, 2.
5. Gruschka G. Zugfestigkeit von Stählen bei tiefen Temperaturen. VDU Verlag, Berlin, 1934.