

## ПРАКТИКА БАРОКРИОДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Хаймович П.А.

Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”  
Украина, 61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1  
E-mail: pavel.41@bk.ru

Начать следует с расшифровки термина *барокриодеформирование*. Этот термин раскрывает условия, в которых осуществляется деформирование объекта. *Баро* – то есть в условиях действия сил всестороннего сжатия, *крио* – то есть в условиях низких (криогенных) температур. Следует напомнить, что «согласно рекомендации, принятой 13-м конгрессом Междунар. ин-та холода (1971), **криогенными** температурами следует называть **температуры** ниже 120 К». При *криодеформировании* подавляются процессы динамического возврата, что позволяет достигать в материале высокую плотность дефектов, обеспечивающую повышенные физико-механические характеристики объекта [1]. *Бародеформирование* отличается тем, что наличие всестороннего сжатия подавляет процессы нарушения сплошности при деформировании, что, в частности, особо важно при работе с низкопластичными материалами [2]. Реализация бародеформирования при криогенных температурах, то есть осуществление *барокриодеформирования* (БКД), обеспечивает, как правило, металлам и сплавам свойства, недостижимые при деформировании в любых иных условиях [3]. Подвергнутые БКД металлы в настоящее время исследуются в ряде лабораторий, но сам процесс барокриодеформирования реализуется по сей день лишь в одном месте – Харьковском ФТИ, где этот вид воздействия на металлы и сплавы и получил путевку в жизнь. Задача настоящего сообщения показать, что получение в традиционных конструкционных материалах необычно высоких физико-механических характеристик путем их пластического деформирования при криогенных температурах в условиях всестороннего сжатия – *барокриодеформирования* – вполне реализуемо при наличии относительно недефицитных технических условий: нужны пресс с усилиями хотя бы 15-20 тонн и хладагент (проще всего – жидкий азот). И, естественно, возможность изготовления необходимой оснастки умеренной сложности.

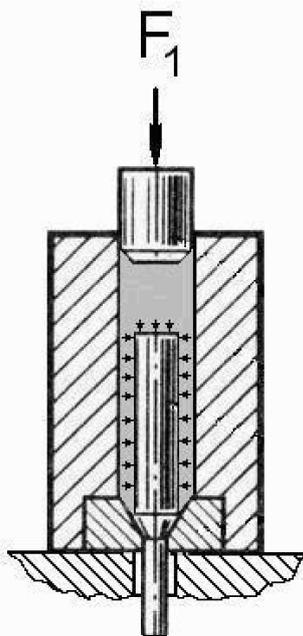


Рисунок 1 -  
Гидрокриодеформационный узел

На ранних стадиях БКД именовалось низкотемпературной квазигидроэкструзией. И это закономерно, так как схема приложения сил к деформируемому объекту идентична имеющей место при гидроэкструзии (рис. 1.). А вот условия деформирования иные. Принципиальное значение имеет то, что деформирование осуществляется не при комнатной или повышенных, а при криогенных температурах, при которых исключается применение жидкостей в качестве передающей давление среды. Как будет ниже показано, это играет важнейшую роль, упрощая требования к необходимой для осуществления БКД оснастке, учитывая, что давления в процессе выдавливания заготовки могут достигать 25-30 кбар и более.

Необходимость осуществлять деформирование при низких температурах предъявляет особые требования к силовому устройству, обеспечивающему приложение столь существенных усилий к реализующей выдавливание оснастке. На первых порах БКД проводили на специализированном

низкотемпературном устройстве, выполненном по классической для низкотемпературных исследований схеме: усилия реализуются между опирающейся

на погруженную в сосуд Дюара колонку траверсой и упором проходящей внутри этой колонки тяги (рис. 2.).

Это стандартный подход для исследования различных физико-механических свойств материалов при низких температурах. Здесь легко реализуется возможность охлаждения деформационного узла сжиженными газами, однако силовые возможности устройства ограничены, как и размеры этого деформационного узла, что, естественно, ограничивает и уровень давления, которое в таком деформационном узле можно достигать.

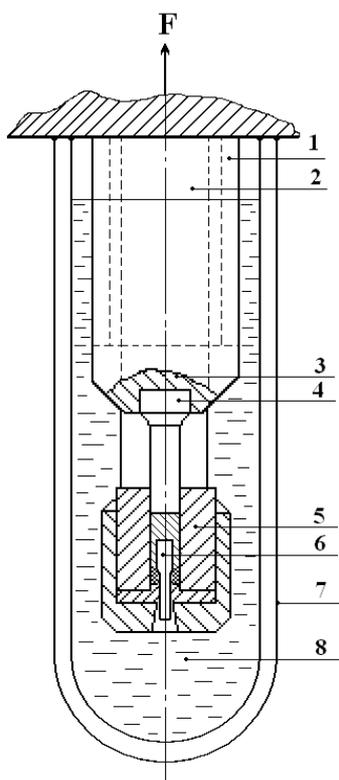


Рисунок 2 -  
Низкотемпературное  
экструзионное устройство.  
1 – опорная колонка,  
2 – тяга,  
3 – траверса,  
4 – пуансон,  
5 – контейнер,  
6 – заготовка,  
7 – сосуд Дюара,  
8 – жидкий криохладагент

Практика БКД показала, что именно эта скоротечность позволяет отказаться от столь сложной емкости для хладагента, заменив его просто металлическим цилиндром с днищем, соответствующим геометрии стола пресса, и простой наружной теплоизоляцией из пенопластовых пластин. Оказалось возможным максимально упростить и сам деформационный узел, один из вариантов которого принял такой вид (рис. 4). Представленная на рисунке схема - фактически технический эскиз, содержащий все необходимые элементы, которые, будучи выполненными в металле из относительно недефицитных сталей (наиболее дорогая – сталь ХВГ для позиций 4, 5, 7, 10), позволят осуществлять БКД широкого круга материалов при температуре жидкого азота с использованием стандартных промышленных прессов. Предпочтительнее прессы с ручным управлением, такие, например, как ПСУ-50, ПСУ-100.

Более подробное описание как этого устройства, так родственных, например, с приложением противодавления, планируется в подготавливаемой организаторами

Создание специализированных низкотемпературных устройств описанного выше типа, позволяющих развивать большие усилия, представляет большие сложности. Поэтому для реализации БКД в достаточно широких пределах прилагаемых усилий были разработаны низкотемпературные приставки к серийным промышленным прессам. Схема одного из первых таких устройств, применённых на прессе ПСУ-50, представлена на рис. 3. Особенностью конструкции являлось то, что внутреннее днище сосуда Дюара, на котором был размещен экструзионный узел, за счет наличия сильфона 1 могло смыкаться со внешним днищем, которое, в свою очередь, при сжатии пружин 2 обеспечивало передачу усилий пресса на экструзионный узел. Так как сам процесс осуществления низкотемпературного квазигидроэкструдирования относительно скоротечен, имевшая место теплопередача через замкнутые во время прессования днища не представляла особых помех.

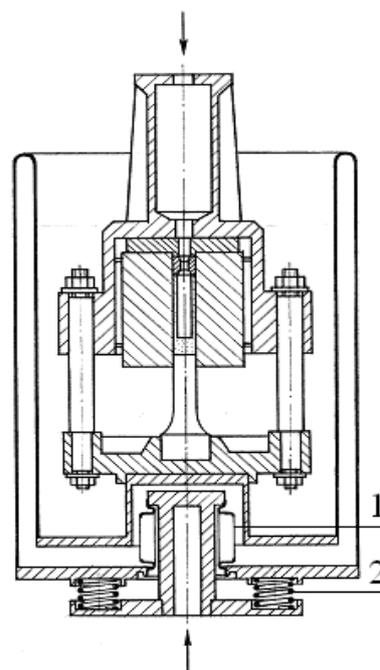


Рисунок 3 - Схема  
низкотемпературной  
приставки к прессу.

конференции коллективной монографии, но несколько моментов нельзя обойти вниманием.

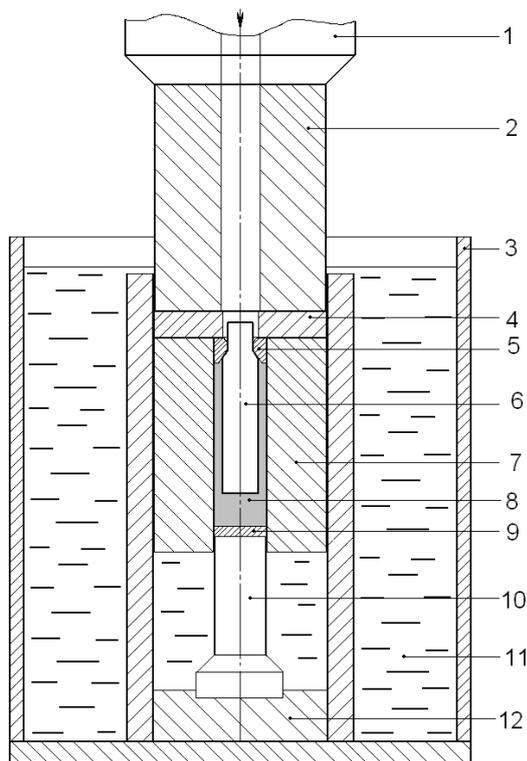


Рисунок 4 - Приставка к прессам для осуществления барокриодеформирования.

1 – верхний упор пресса, 2 – упорный цилиндр приставки, 3 – емкость с хладагентом, 4 – упор фильеры, 5 – фильера, 6 – заготовка, 7 – цилиндр высокого давления, 8 – передающая давление середа, 9 – уплотняющая шайба, 10 – пуансон, 11 – хладагент, 12 – упор пуансона.

Как выше было обещано, необходимо расшифровать, в чем технологическая польза в осуществлении процесса при криогенных температурах. Так как в этих условиях любые жидкости в качестве среды, передающей давление на прессуемую заготовку, неприменимы, то это принуждает использовать в качестве таковой твердое тело, но многократно более пластичное, чем деформируемый объект. На практике в таком качестве из опробованных материалов самый лучший результат обнаружил индий. Известно, сколь непростой задачей является удержание жидкости высокого давления и сколь высокую опасность работа с ней может представлять, зато работа со сжатой твердой средой совершенно безопасна. При этом высокая, по сравнению с жидкостью, вязкость твердой среды снимает необходимость в прецизионном изготовлении элементов узла высокого давления, упрощает монтаж деформационного узла при подготовке его для осуществления БКД.

Простота достижения давления в 20 и более кбар в цилиндре высокого давления (рис. 4, поз. 7) сочетается при этом с высокими требованиями к свойствам пуансона, который должен выдерживать усилия, необходимые для реализации такого давления в среде.

На практике пуансоны оказывались наиболее слабым местом при работе в области предельных давлений. Появление дефектов, просто разрушение пуансона требовало его замены, влекло затраты. Простота устройства для БКД благодаря применению твердой, а не жидкой среды, несложность его монтажа позволили отказаться от традиционной конфигурации пуансона, разделив его цилиндрическую часть и головку. При монтаже они соединяются любым простым клеем, лишь бы была обеспечена фиксация при сборке. Естественно, с подъемом давления пуансон ведет себя как одно целое.

Приходится повториться, что, хотя результаты, полученные в разных исследовательских центрах [4], говорят об очень высокой эффективности БКД, по сей день осуществляется она только в ХФТИ НАНУ. Задача настоящего сообщения показать, что реализация БКД не представляет большой сложности.

1. И.А. Гиндин, Я.Д. Стародубов, В.К. Аксенов, *Металлофизика*, 2, 49 (1980).
2. Б.И. Береснев, Е.В.А. Трушин, *Процесс гидрокструзии*, «Наука», Москва (1976).
3. П.А. Хаймович. На пути к барокриодеформированию. В кн. *Перспективные материалы*, т.3, ТГУ, МИСиС, Тольятти, Москва, 363 (2009).
4. Хаймович П.А. Криодеформирование металлов в условиях всестороннего сжатия (обзор). *ФНТ*, (2018), т.44, №5, стр. 463-490.