

УДК 621.71

К. Ю. Апатов, Ю. Л. Апатов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СП-ФОРМОВКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОБЪЕМНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

В статье приводится описание деформации материала в состоянии сверхпластичности при пневмоформовке (СПФ) с определением граничных значений наиболее значимых параметров этого процесса с целью разработки новых видов средств технологического оснащения – автономных штамповых блоков.

Дается подробное описание конструкции автономного штампового блока для проведения экспериментов по указанному направлению исследований, которая защищена патентом РФ на полезную модель № 54541 МКИ В21D26/22 «Устройство для листовой формовки в состоянии сверхпластичности».

Статья содержит результаты исследований СПФ, которые послужили основой для разработки способа формовки многокомпонентных сборных изделий. Представлены результаты формообразования детали в процессе деформирования металла с ультрамелкозернистой структурой при различных режимах деформации.

Приводятся зависимости геометрических параметров деталей от основных влияющих факторов: давления газа в полости штампа, время выдержки под давлением, а также температура проведения процесса для различных вариантов материала, толщин листовой заготовки и т. п.

Ключевые слова: сверхпластичность, деформационная способность, структура образца, штамповая оснастка, матрица-вставка.

Тематика работ, связанных с практическим применением явления сверхпластичности металлов в производственных условиях, весьма актуальна и своевременна ввиду того, что при его использовании можно получать объемные детали различной конфигурации с элементами декоративного рельефа из листа методом сверхпластической формовки (СПФ), а также недостаточностью теоретических и экспериментальных данных, касающихся средств его оснащения.

Целью статьи является описание проведенных экспериментов и обобщение некоторых результатов, полученных при изучении указанного метода.

Метод исследования процесса СП-формовки носил характер экспериментального с учетом основных параметров процесса в широких пределах.

В современном производстве целесообразно внедрение эксклюзивных, редко применяемых методов получения деталей, к которым относится и СПФ. В частности, это связано с появляющимися потребностями рынка в качественных декоративных изделиях. Возникла научная заинтересованность, обусловленная возможностями данного метода, позволяющими получать ответственные сложнопрофильные детали промышленного назначения из различных материалов.

Первые результаты изучения необычного поведения металлических сплавов с ультрамелким зерном, металлов и сплавов вблизи температур фазовых превращений в их твердом состоянии были получены отечественными учеными-исследователями А. А. Бочваром и З. А. Свидерской. Ими было обнаружено и подробно описано явление, заключающееся в резком снижении характеристик горячей твердости сплавов при приближении к эвтектоидной концентрации, а также же был введен в техническую литературу сам, общепринятый ныне термин «сверхпластичность». Определяющая роль в развитии этого научного направления и создания основ его практического применения принадлежит нашим современникам О. М. Смирнову и М. А. Цепину [1, 2]. Именно под их руководством разрабатывалась методика проведенных нами экспериментальных исследований, некоторые результаты которых приведены ниже.

Нами была спроектирована и изготовлена оснастка для проведения экспериментов в широком диапазоне варьируемых параметров изучаемого процесса на образцах из различных материалов, обладающих эффектом сверхпластичности. Проведен ряд исследований, посредством которых получила обоснование прогрессивная беспрессовая схема СП-формовки и разработано несколько опытных устройств, защищенных Патентами РФ на полезные модели.

Целью статьи является описание поведения материалов заготовок из латуней специального состава при протекании процесса СП-формовки и определение граничных значений наиболее важных параметров этого процесса применительно к новым видам технологических средств оснащения.

Следует отметить, что сплав, из которого выполняется заготовка для СП-формовки, в определенных структурных и температурно-скоростных условиях деформирования по своим физическим свойствам и реологическому поведению подобен аморфному материалу с резким снижением характеристик сопротивления деформации и значительно возрастающими показателями пластичности.

Подтвердились известные ранее свойства сверхпластичных материалов в реологическом отношении. Здесь можно выделить три основных признака, сочетание которых и характеризует состояние сверхпластичности:

- повышенная (по сравнению с пластическим состоянием) чувствительность напряжения течения материалов к изменению скорости деформации;
- чрезвычайно большой ресурс деформационной способности, особенно наглядно проявляющийся в возможности деформировать сверхпластичные материалы при растяжении равномерно, без заметной локализации;
- напряжение течения материала в состоянии сверхпластичности значительно меньше (в большинстве случаев в несколько раз) предела текучести, характеризующего тот же материал в обычном пластическом состоянии.

Указанные признаки состояния сверхпластичности проявляются в определенных условиях, когда принципиальное значение имеют структурное состояние деформируемого материала, температурные условия и скорость деформации. При этом температурный интервал существования структурной сверхпластичности довольно широк. Он может находиться в пределах от температуры начала рекристаллизации, равной $0,4T_{пл}$, до температур, близких к температуре плавления. Температура структурной сверхпластичности должна поддерживаться постоянной по объему деформируемого объекта в течение всего процесса для обеспечения равномерного течения материала заготовки.

Скорость деформации для поддержания состояния структурной сверхпластичности должна быть, с одной стороны, достаточно малой, чтобы успевали в полном объеме протекать диффузионные процессы, участвующие в процессе деформации, с другой стороны, достаточно высокой, чтобы в условиях повышенных температур не допустить значительного роста зерен металла.

Говоря о практической значимости данного метода, следует отметить, что сверхпластическая формовка является одним из наиболее перспективных способов изготовления полых изделий сложной формы из листовых заготовок, в том числе с тонким декоративным рельефом поверхности, высокого качества, с большим разнообразием форм и рисунков. СПФ имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами листовой штамповки, а именно: увеличение деформационной способности материала заготовки в 100–300 раз, возможность получения под невысоким давлением газовой среды сложнопрофильных изделий за 1–2 технологических перехода, снижение трудоемкости изготовления штамповой оснастки (не имеющей пуансона), используемой в специальных автоматизированных установках.

Особенности технологии СПФ, которую также называют пневмоформовкой, обусловлены тем, что данная высокотемпературная деформация (в пределах $0,5-0,7 t_{пл}$) листовых материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой (порядка 1–10 мкм) характеризуется очень низким напряжением течения (в диапазоне 1–12 МПа), необычайно высоким относительным удлинением (достигающим 100–1000%) и сильной зависимостью напряжения течения от скорости деформации. Последнее затрудняет локализацию деформаций, то есть повышает устойчивость течения, обеспечивая получение очень больших деформаций при схемах растяжения, чем достигается повышение качества деталей.

СПФ отличается от процессов обычной листовой вытяжки и формовки, тем, что роль пуансона выполняет инертный газ или воздух, подаваемый в рабочую зону штампа под сравнительно низким давлением (0,1–2 МПа). При этом формоизменение детали принято делить на две стадии: макроформовку, т. е.

процесс, при котором получается непосредственно общая форма детали (так называемое «вспучивание»), и микроформовку, при которой производится оформление требуемого поверхностного рельефа.

Эти опыты явились частью исследований, проведенных нами совместно с НИЛТМ кафедры ОМД МИСиС (г. Москва).

Процесс СПФ мы проводили с нагревом в печи ТЭНами на блоке с применением в качестве формирующей среды сжатого углекислого газа с давлением от 0,5 до 1,5 МПа. Температура нагрева варьировалась в диапазоне 550–700°C. Материалом для заготовок служили латуни марок Л63 (модифицированная 0,12% кремния) и ЛЖМц 59-1-1 в виде листового проката толщиной 0,8–1,2 мм.

Начало разработок было положено использованием экспериментального штампового блока [3], схема которого представлена на рис. 1. При помощи сменных матриц-вставок, изготовленных для блока, были получены различные варианты образцов, прошедших последующую процедуру тщательного измерения размеров продольного сечения, получены микрошлифы их структуры.

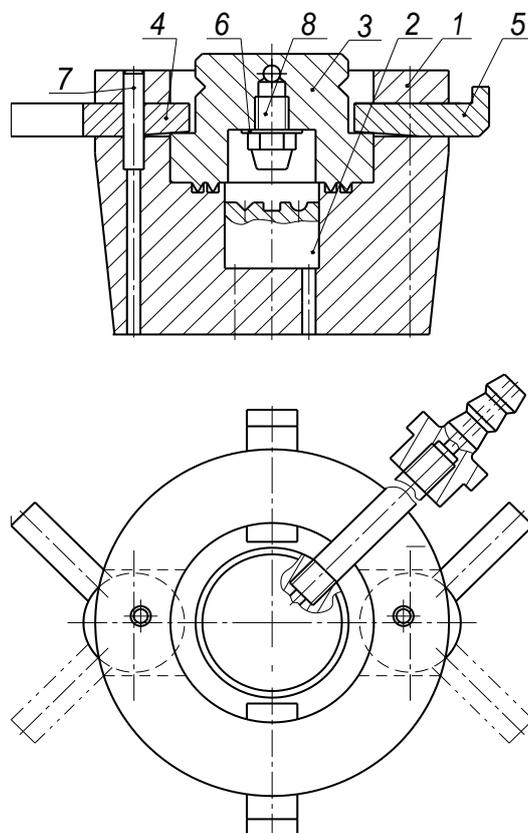


Рис. 1. Общий вид экспериментального штампового блока для СПФ

При проведении эксперимента листовую заготовку круглой формы диаметром 50 мм закладывали в гнездо матрицы 1, на поверхность вставки 2 заданного профиля и накладывали крышку 3. Под прессом небольшого усилия производили опрессовку рифтов для достижения требуемой герметичности рабочей полости. Далее, не снимая усилия прессы, запирали поворотными замковыми механизмами 4 крышку 3 блока, вставляли запорные клинья 5 и подавали штамповый блок в электрическую печь.

На рис.2 приведены примеры микрошлифов некоторых образцов.

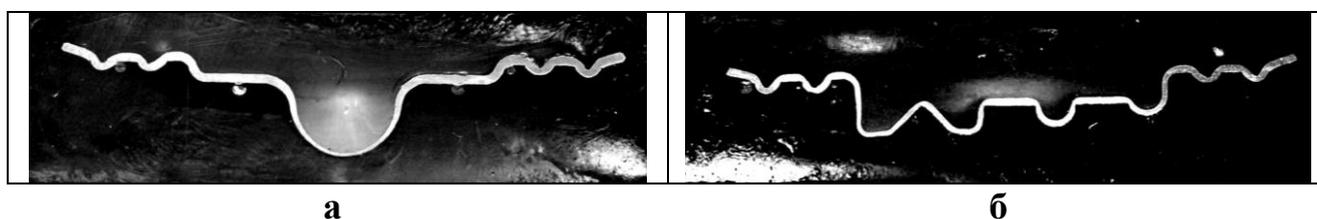


Рис. 2. Примеры сечений образцов: а – округлой формы при позитивной формовке; б – более сложной конфигурации при негативной схеме формовки



Рис. 3. Результаты размерного анализа одного из опытных образцов асимметричной формы сечения

Было проведено около 300 экспериментов с последующим замером размеров меняющегося по толщине слоя материала заготовки в сечении образца.

Далее были изготовлены микрошлифы и получены фотоснимки микроструктуры образцов, выполненные с применением электронного микроскопа. Один из образцов представлен на рис. 4.а. Изображение на рис. 4.б имеет 500-кратное увеличение и отображает среднюю левую часть образца с исходной, не нарушенной мелкозернистой структурой материала заготовки. Установлено, что после достижения предельных значений глубины профиля (h), утонение материала образца приводит к его разрушению. Микроструктура в месте разрыва образца вблизи центра последнего показана на рис. 4.в (увеличение в 200 раз).

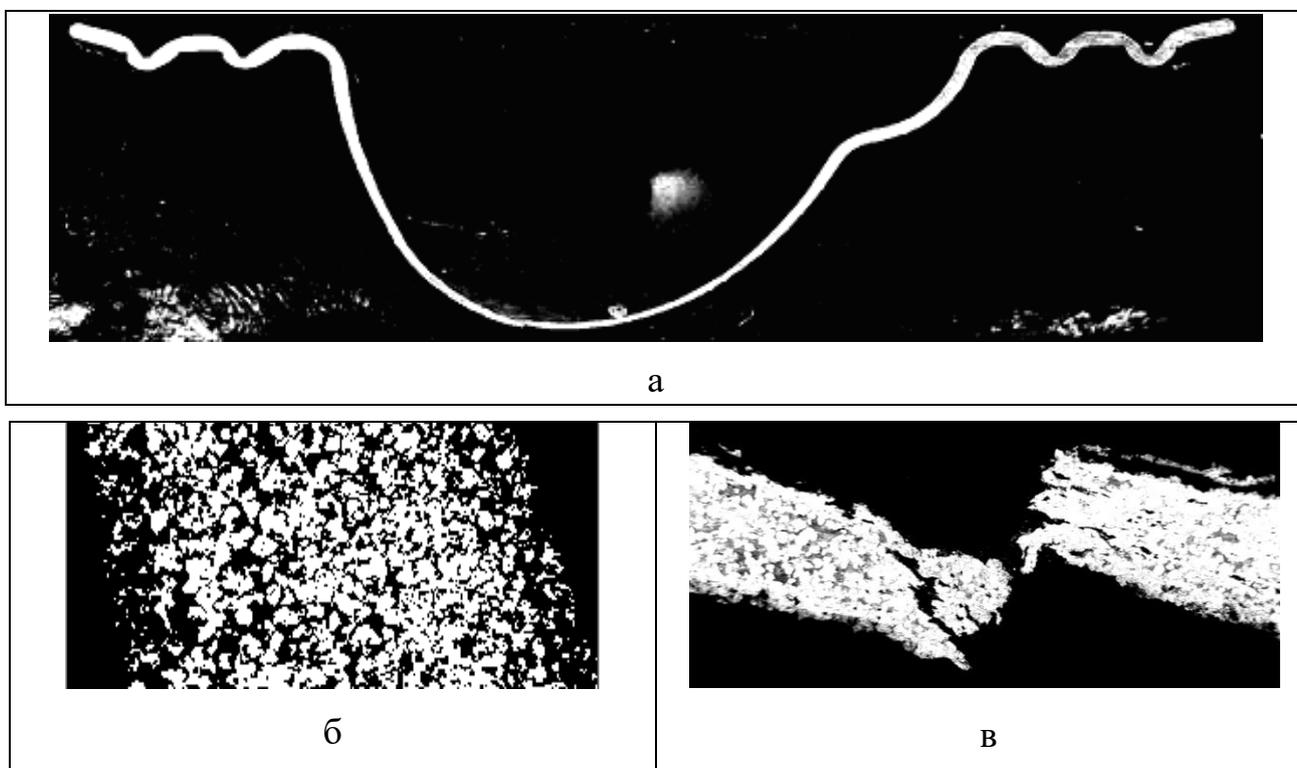


Рис. 4. Профиль сечения образца асимметричной формы:

а – поперечное сечение экспериментально образца; б – микроструктура основного материала заготовки; в – микроструктура и характер разрушения в месте разрыва образца

Отмечается наличие незначительного дефектного слоя на поверхности образцов, а также отсутствие деформации самих зерен металла (например, их удлинения) по краям образцов, что говорит о сохранении их размеров и формы, обуславливающее низкие требуемые усилия деформации и формообразования.

Были изготовлены также образцы в которых варьировались их параметры, в том числе важнейший из них – достижимая глубина профиля, которая определяет возможные граничные значения получения конкретных деталей.

Суммарный график зависимости параметра h – (глубины профиля) специальных для его определения образцов от времени выдержки (τ) и давления сжатого газа (P) приведен на рис. 5.

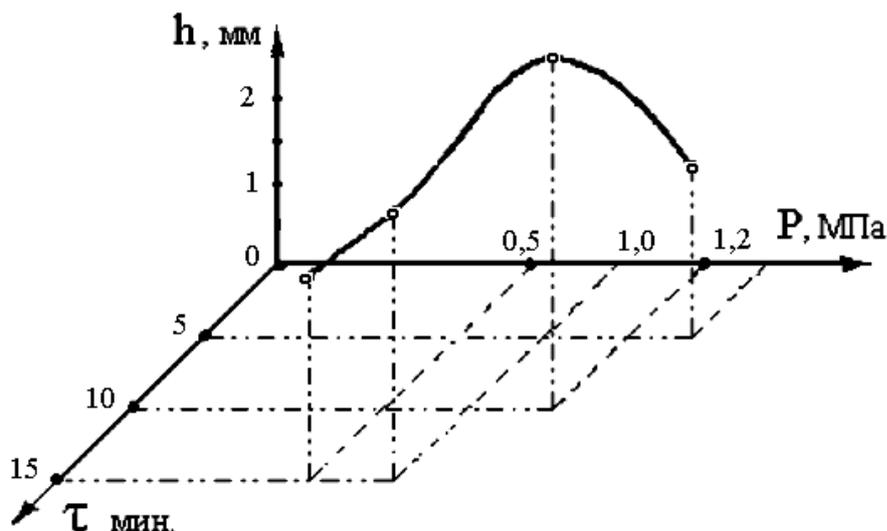


Рис. 5. Суммарный график зависимости параметра h полученных образцов от времени выдержки и давления

В качестве выводов по данной статье обзорного характера, можно отметить, что в ней приведены общие положения и задачи, стоящие перед началом исследований, отражена в краткой форме методика проведенных экспериментальных исследований процесса СПФ из листовых заготовок. Она может быть полезна специалистам, работающим в этой и смежных отраслях техники.

Список литературы

1. Смирнов О. М. Обработка металлов давлением в состоянии сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1979. 184 с.
2. Чумаченко Е. Н., Смирнов О. М., Цепин М. А. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии. М.: КомКнига, 2005. 320 с. (Синергетика: от прошлого к будущему).

3. Апатов К. Ю., Цепин М. А., Апатов Ю. Л., Поляков С. М. Устройство для листовой формовки в состоянии сверхпластичности. Патент РФ на полезную модель № 54541 МКИ В21D26/22, 2006 г.

АПАТОВ Константин Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: usr03913@vyatsu.ru

АПАТОВ Юрий Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: usr00009@vyatsu.ru