

Регулирование скорости деформирования в тиксоштамповке

И.М. Койдан

Технология тиксоштамповки представляет собой процесс деформирования металлических сплавов с глобулярной микроструктурой в твердожидком состоянии. Данный процесс требует высокой точности реализации всех технологических параметров, которые в равной степени влияют на качество полученной поковки. В статье рассмотрен вопрос регулирования скорости деформирования с точки зрения его влияния на качество поковки. Описано влияние температуры заготовки, конструкции и температуры штамповой оснастки на скорость деформирования.

Ключевые слова: тиксоштамповка, глобулярная микроструктура, твердожидкое состояние, скорость деформирования, реологические свойства, ламинарное течение, турбулентное течение, адаптивное регулирование.

The considered technology of thixoforging is a deformation process of metal alloys with globular microstructure in a semi-solid condition. This technology requires high precision implementation of all process parameters influencing the workpiece quality. The article deals with the problem of the deformation rate control from the point of view of its influence on the workpiece quality. The effect of the semi-solid slug temperature, design and the die temperature on the deformation rate is described.

Keywords: thixoforging, globular microstructure, semi-solid material, deformation rate, rheological properties, laminar flow, turbulent flow, adaptive control.

Технология тиксоштамповки представляет собой процесс деформирования металлических сплавов с глобулярной микроструктурой в твердожидком состоянии. Такая технология позволяет получать детали сложной геометрии за один штамповочный переход с незначительными, в сравнении с традиционной штамповкой, энергетическими затратами. Как правило, геометрия поковки максимально приближена к геометрии детали и имеет повышенные механические характеристики. Современный уровень процессов штамповки металла в твердожидком состоянии позволяет применять широкую номенклатуру материалов, а области использования тиксоштампованных деталей постоянно расширяются. Наибольшее распространение в тиксотехнологиях получили алюминиевые (AlMgSi1, AlSi7Mg), стальные (100Cr6 und X210CrW12), медные (CuZn40Al2) и титановые (TiAl6V4) сплавы. С развитием возможности штамповки тугоплавких сплавов в твердожидком состоянии широкое применение тиксотехнологии нашли в медицинской технике — в области протезирования и изготовления имплантов.

Основными параметрами тиксоштамповки, влияющими на процесс деформирования, являются температура заготовки, температура штамповой оснастки и скорость деформирования. В зависимости от



КОЙДАН

Иван Михайлович

аспирант

кафедры

«Технологии обработки металлов давлением»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

правильности подбора этих величин, можно говорить о возможности получения высококачественных поковок, обладающих всеми преимуществами тиксоштампованных деталей.

Сложность процесса тиксоштамповки заключается в том, что для тиксотехнологий нет установленных рекомендаций по подбору параметров штамповки для изготовления той или иной детали. Условия штамповки могут полностью изменяться в зависимости от геометрии требуемой поковки, количественного содержания твердой и жидкой фазы в металле перед началом деформирования, химического состава используемого материала, массы заготовки, типа применяемого оборудования. Незначительное отклонение или изменение одного из перечисленных параметров может потребовать изменений в других. Например, по результатам исследований и натурных экспериментов, проводимых в IBF RWTH, степень влияния химического состава столь велика, что для разных поставок стали необходимо заново подбирать режимы нагрева. Поэтому для промышленного применения данной технологии рекомендуемым условием является использование систем непрерывного автоматического контроля и адаптивного регулирования параметрами работы штамповочного комплекса.

Подбирая параметры управления необходимо учитывать допустимый диапазон их регулирования, возможности по управлению, степень влияния на качество готовой поковки.

Кинематика движения деформирующего инструмента

На кинематику движения деформирующего инструмента оказывают влияние такие технологические параметры, как диапазон температурного окна штамповки, реологические свойства заготовки и конструкционные особенности штамповой оснастки.

Отличительной особенностью тиксоштамповки является возможность ее проведения только при определенной температуре заготовки, в интервале между линиями ликвидус и солидус для каждого материала. Это так называемое температурное окно тиксоштамповки, при котором заготовка в момент деформирования может вести себя как вязкая суспензия, имеет крайне узкий интервал значений. Например,

для литейного алюминиевого сплава AlSi7Mg температурное окно составляет $(580 \pm 6)^\circ\text{C}$, для деформируемого алюминиевого сплава AlMgSi1 — $(642 \pm 2)^\circ\text{C}$, для стального сплава X210CrW12 — $(1290 \pm 10)^\circ\text{C}$.

При контакте с более холодной штамповой оснасткой заготовка быстро остывает, теряя при этом свойства жидкотекучести. Поэтому время полного заполнения полости штампа металлом до его кристаллизации также ограничено. Особенно это важно учитывать при штамповке поковок, имеющих большую площадь контакта с поверхностью штампа или продолжительное течение. Следовательно целесообразным является применение высокой скорости деформирования для быстрого заполнения всей полости штампа, прежде чем температура заготовки опустится ниже линии солидус. Например, при изготовлении деталей типа стакан (рис. 1, а) требуется скорость 100 мм/с [1], а при изготовлении детали сложной геометрии с продолжительным течением (рис. 1, б) — 600 мм/с [2].

Нагретая заготовка, обладающая свойствами тиксотропности, во время формоизменения проявляет свойства жидкотекучести. При этом от скорости деформирования зависит характер течения твердожидкого металла — ламинарный или турбулентный. Эта зависимость ограничивает возможности по увеличению скорости деформирования, поскольку возникновение турбулентных потоков во время течения металла крайне негативно сказывается на качестве поковки. Образование турбулентных потоков приводит к захвату воздуха металлом и, как следствие, возникновению большого количества пор (рис. 2), проникновению оксидной пленки с поверхностных слоев заготовки во внутренней области поковки.

Наиболее благоприятная кинематика ползуна при штамповке твердожидкого металла представлена на рис. 3.

После установки нагретой заготовки в штамп скорость приближения деформирующего инструмента должна иметь максимальное значение. Это вызвано необходимостью сократить время контакта заготовки со штампом, так как градиент температур между заготовкой и инструментом приводит к быстрому остыванию поверхности заготовки. Однако перед соприкосновением

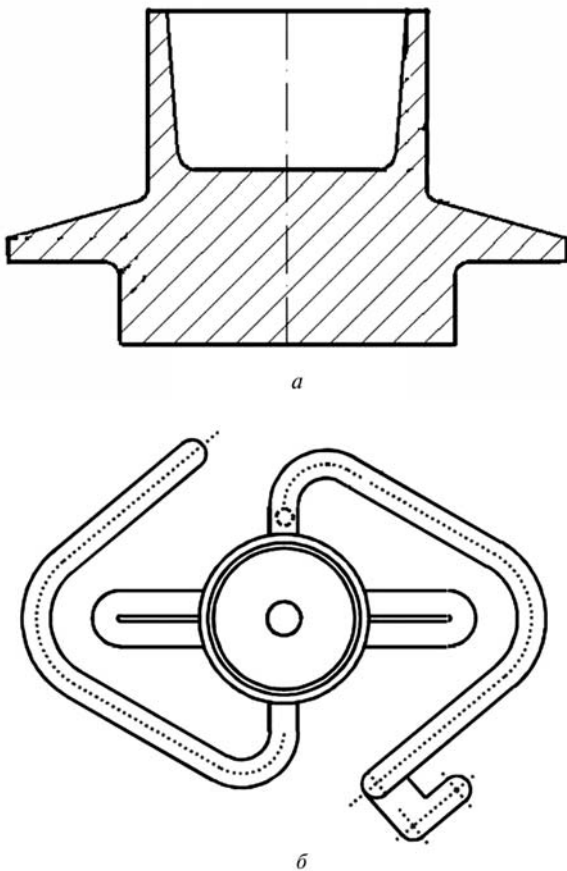


Рис. 1. Геометрия поковок, получаемых методом тиксоформирования при скорости деформирования:
a – 100 мм/с; *б* – 600 мм/с

верхнего штампа с заготовкой необходимо снижение скорости до величины, при которой не происходит разбрызгивание металла. После касания верхнего штампа заготовки и начала деформирования скорость может быть увеличена либо снижена до требуемого значения в зависимости от условий штамповки (геометрии поковки, материала заготовки, температуры заготовки и штамповой оснастки).

Влияние конструкции штампа на скорость деформирования

Кинематику движения деформирующего инструмента определяют не только реологические свойства тиксозаготовки, но и конструкторское исполнение штамповой оснастки. Основные типы тиксоштамповки представлены на рис. 4.

Как видно на рис. 4, *a*, *б* процесс деформирования в открытых штампах сопровождается

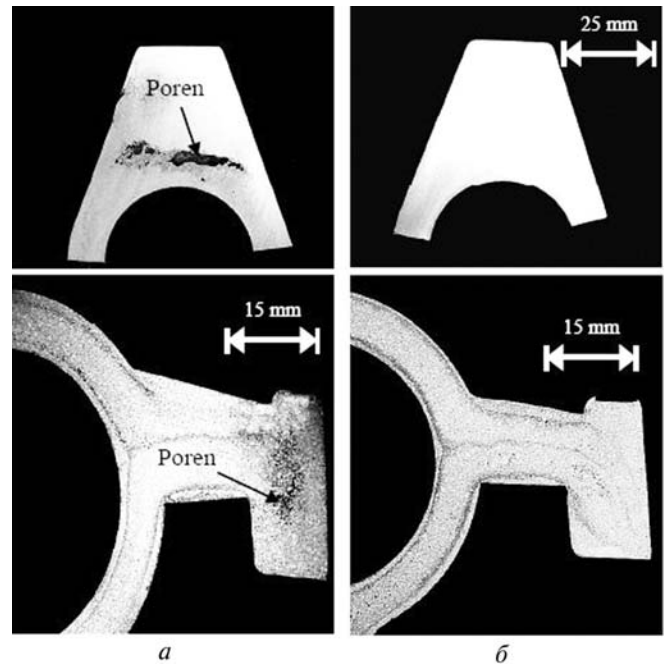


Рис. 2. Влияние скорости деформирования на возникновение пористости в поковке [3]:

a – 400 мм/с;
б – 200 мм/с

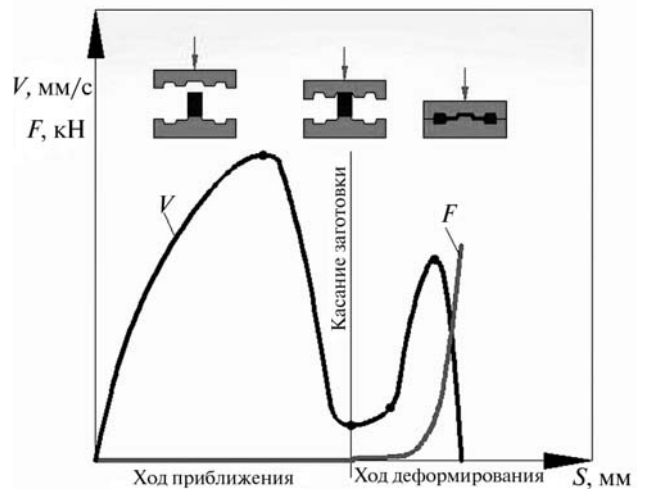


Рис. 3. Кинематика движения ползуна при штамповке металла в твердожидком состоянии

постоянным уменьшением площади поперечного сечения между верхним и нижним штампом. Вследствие этого по ходу деформирования заготовки необходимо учитывать, что при постоянной скорости ползуна скорость течения твердожидкого металла постепенно увеличивается [4]. Поэтому для сохранения ламинарного течения металла в штампе следует несколько снизить скорость деформирования. При штамповке в закрытых штампах (рис. 4, *в*) площадь

поперечного сечения во время деформирования не изменяется и соответственно скорость течения потока твердожидкой суспензии остается постоянной. Поэтому в данном случае нет необходимости в регулировании скорости деформирования.

Влияние температуры заготовки и штамповой оснастки на скорость деформирования

В описанных выше случаях рассмотрено влияние свойств тиксозаготовки и конструкторского исполнения штампового инструмента на изменение скорости деформирования при неизменности остальных параметров технологического процесса. Между тем, на реологические свойства заготовки во время деформирования в свою очередь оказывают влияние, как температура ее нагрева, так и температура штамповой оснастки. Необходимость в оперативном регулировании скорости деформирования может возникнуть при изменении этих двух величин. Такие изменения возникают в силу намеренной их корректировки, либо влияния внешних неконтролируемых факторов. Дело в том, что подобрать точные параметры технологического процесса невозможно, а результаты моделирования дают грубые данные, что может привести к необходимости под-

регулировки режимов работы оборудования. Фактор неконтролируемого влияния включает в себя возможные погрешности в работе оборудования, подстывание заготовки при переносе ее в штамп и непосредственно в штампе. Регулирование скорости деформирования позволяет учитывать изменения, либо компенсировать случайные отклонения остальных параметров от заданной величины.

Увеличение температуры нагрева заготовки повышает содержание жидкой фазы. Жидкотекучесть заготовки повышается, и, соответственно, без корректировки величины скорости деформирования, возрастает возможность формирования турбулентных потоков или эффекта разбрызгивания при соприкосновении штампа с заготовкой. По результатам экспериментов, проводимых на оборудовании кафедры «Технологии обработки металлов давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана, при тиксоштамповке в открытых штампах незначительный перегрев заготовки при равных скоростях деформирования приводит к разбрызгиванию металла, неравномерному распределению твердой и жидкой фазы по объему поковки (рис. 5). Результаты эксперимента наглядно показывают, что для предотвращения таких эффектов в случае перегрева заготовки необходимо снижение скорости начала деформирования.

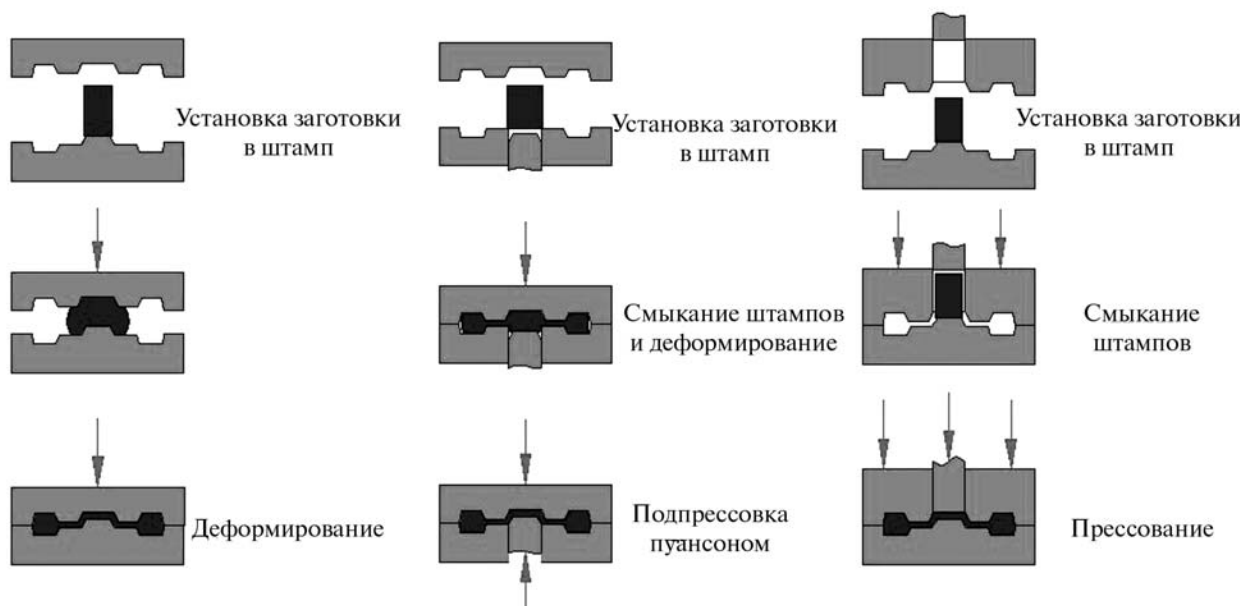


Рис. 4. Схемы основных типов тиксоштамповки:

a — в открытых штампах; *б* — в открытых штампах с подпрессовкой; *в* — в закрытых штампах

Понижение температуры заготовки, наоборот, уменьшает вероятность возникновения турбулентного потока и разбрызгивания, но вместе с тем может привести к началу кристаллизации твердожидкого металла до момента заполнения полости штампа. В таком случае корректировка скорости в большую сторону позволяет сократить время контакта твердожидкого металла с более холодным штампом. При этом повышенное содержание доли твердой фазы способствует снижению вероятности возникновения турбулентного потока или разбрызгивания металла.

Недостаточный нагрев штамповой оснастки также способствует быстрому остыванию металла заготовки. Однако в данном случае варьирование скоростью деформирования необходимо проводить с учетом температуры заготовки. При этом следует учитывать, что увеличение скорости деформирования без снижения температуры заготовки ограничивается возникновением описанных выше эффектов.

Выводы

Управление скоростью деформирования сводится к формированию ламинарного потока течения твердожидкого металла в полости штампа для его заполнения прежде, чем металл полностью кристаллизуется, обеспечивая таким образом получение высококачественной поковки. Скорость ограничивается двумя условиями: с одной стороны, она должна быть достаточной, чтобы металл полностью заполнил полость штампа до окончательной кристаллизации, с другой — не превышать скорости формирования турбулентного потока.

Несомненно, влиять на процесс деформирования возможно с помощью регулирования температуры заготовки или штамповой оснастки. Однако стоит отметить, что регулирование температуры заготовки ограничивается крайне узким температурным окном штамповки, а нагрев штамповой оснастки — высокой инерционностью, затрудняющей проведение оперативного регулирования. Кроме того, регулировка этих параметров в большей степени

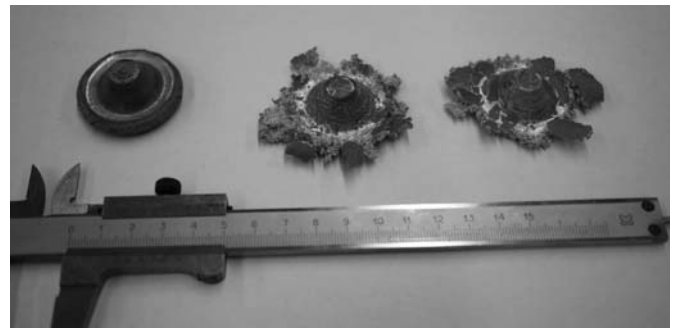


Рис. 5. Деформированные тиксозаготовки при равной скорости деформирования и температуре штамповки:

a — ≈ 575 °C; *b* — ≈ 585 °C; *c* — ≈ 595 °C

сказывается на структуре поковки, и зачастую в сторону ухудшения (например, при перегреве заготовки и штамповой оснастки). Конечно, приоритетной является система оперативного адаптивного управления, регулирующая все три параметра одновременно, а также учитывающая взаимное влияние этих величин. Однако, в силу сложности построения такой математической модели и алгоритма работы, система управления не всегда будет оправданной, так как ее усложнение приводит к увеличению вероятности возникновения ошибок. Поэтому более перспективной представляется система управления с оперативной регулировкой одним параметром, но при этом учитывающая и компенсирующая отклонения и изменения других параметров.

Литература

1. Хижнякова Л.В. Разработка технологических параметров штамповки осесимметричных поволоков из алюминиевого сплава А356 в твердожидком состоянии (тиксоштамповки): Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2007. 16 с.
2. Klaus Siegert, Günther Messmer, Jens Baur, Andreas Wolf. Thixoschmieden von Aluminiumbauteilen; Tagungsband zur 7. Sächsischen Fachtagung Umformtechnik; 24. — 25. Oktober 2000.
3. Wolf A., Baur J., Gullo G.: Thixo-Schmieden; In: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung; Hrsg.: Siegert, K., 14—16 Mai 2001.
4. Meßmer, G.: Gestaltung von Werkzeugen für das Thixo-Schmieden von Aluminium und Messinglegierungen in automatisierten Schmiedezellen. Beiträge zur Umformtechnik Nr. 54. Frankfurt/M.: MAT-INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft, 2006.

Статья поступила в редакцию 02.03.2012