

УДК 621.73.08

СТРАТЕГИИ И ЦЕЛИ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ШТАМПОВКИ МЕТАЛЛА В ТВЁРДОЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

Иван Михайлович Койдан

*Аспирант 3 года,
кафедра «Технологии обработки давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю.А. Бочаров,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки металлов
давлением»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Применение адаптивных систем числового программного управления штамповочным комплексом позволяет производить оперативную регулировку основных параметров технологического процесса с целью получения высококачественных поковок, снижения количества брака, повышения надёжности работы штамповочного комплекса. Такие возможности системы управления особенно актуальны при изготовлении деталей методами твёрдожидкого деформирования (тиксостамповки).

Процессы тиксостамповки позволяют получать высококачественные детали сложной геометрии за один штамповочный переход с незначительными, в сравнении с традиционной штамповкой, энергетическими затратами. Тиксотехнологии обладают рядом преимуществ, реализация которых может быть достигнута за счёт эффективности и надёжности работы системы адаптивного управления. Эффективность и надёжность работы системы управления в первую очередь основывается на правильном выборе стратегии и цели управления.

Стратегия и цель управления определяется технологией (геометрия поковки, материал заготовки, конструкция штампа, требование к соотношению твёрдой/жидкой фазы в нагретой заготовке и др.) и техническими возможностями применяемого оборудования.

Целью системы адаптивного управления является получение высоких геометрических (точность геометрии, качество поверхности) и качественных (сохранение глобулярной структуры, твёрдость, отсутствие пористости, усадочных раковин и других различных дефектов) характеристик поковки. Однако для этого необходимо иметь полное представление о технологических параметрах процесса и верно определить стратегию управления для того или иного процесса штамповки. В табл. 1. приведены основные технологические параметры тиксостамповки и результаты, вызванные отклонением заданных величин от нормы.

Данных из табл. 1 дают основания для определения следующих стратегий управления:

- управление заготовкой (температура нагрева заготовки, гомогенизация свойств нагретой заготовки по сечению);
- управление оборудованием (скорость деформирования);
- управление штамповым инструментом (температура нагрева штампового инструмента);

Табл. 1. Технологические параметры тиксоштамповки и результаты отклонения их от нормы

Технологические параметры штамповки	Отклонение от нормы	Результат отклонения от нормы
Температура штампового инструмента	в большую сторону	изменение свойств смазывающего вещества
	в меньшую сторону	незаполнение полости штампа;
Температура заготовки	в большую сторону	затруднения при установке заготовки в штамп; повышенная тепловая нагрузка на штамповый инструмент; увеличение времени выдержки под давление;
	в меньшую сторону	незаполнение полости штампа; повышенная силовая нагрузка на штамповый инструмент;
Скорость деформирования	в большую сторону	неламинарное течение с захватом воздуха и оксидной плёнки;
	в меньшую сторону	незаполнение полости штампа;

Выбор той или иной стратегии управления зависит от материала заготовки, требуемого соотношения количества твёрдой/жидкой фазы в заготовке на момент начала деформирования, геометрии поковки, конструкции штампа, технических возможностей применяемого оборудования.

Материал и требуемое соотношение количества твёрдой/жидкой фазы в нагретой заготовке определяют температурный диапазон штамповки. 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 величина температурного окна составляет 580 ± 6 °C, для деформируемого алюминиевого сплава AlMgSi1 - 642 ± 2 ° [1], для стального сплава X210CrW12 - 1290 ± 10 ° [2].

Важным условием нагрева является недопущение больших колебаний температуры в процессе нагрева. Незначительный перегрев заготовки приводит к увеличению содержания жидкой фазы и, соответственно, изменению реологических свойств поковки, частичному оплавлению заготовки. Это оказывает влияние как на характер течения металла в полости штампа, так и на механические и качественные характеристики поковки. Недостаточный нагрев может стать причиной потери заготовкой свойств жидкотекучести и незаполнению полости штампа. Требование к количественному содержанию твёрдой фазы в заготовке ещё больше сужает температурное окно штамповки. На рис. 1. представлен температурный диапазон нахождения алюминиевой заготовки AlSi7Mg в твёрдожидком состоянии и рекомендуемый температурный диапазон для тиксоштамповки.

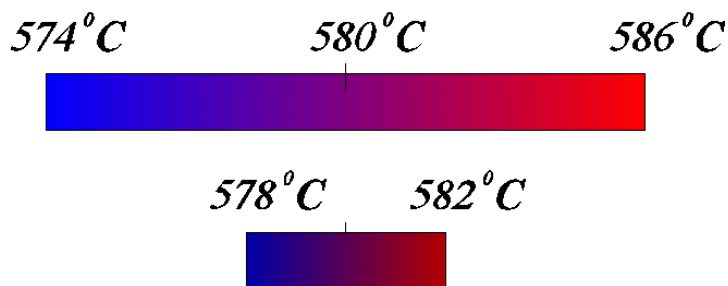


Рис. 1. Температурный диапазон нахождения алюминиевой заготовки AlSi7Mg в твёрдожидком состоянии и рекомендуемый температурный диапазон для тиксоштамповки

Как видно из рис. 1, диапазон варьирования температурой заготовки в случае использования рекомендованных температур для тиксоштамповки значительно сокращается. Вместе с тем необходимо учитывать допускаемый диапазон колебаний температуры и точность нагрева, обеспечиваемые самим нагревательным устройством. Поэтому при выборе стратегии управления заготовкой, важно точно оценить возможность и целесообразность варьирования температурой заготовки в зависимости от ширины температурного окна и точности нагрева, обеспечиваемой оборудованием.

Скорость деформирования определяет время протекания процесса формоизменения и, соответственно, время контакта твёрдожидкого металла с поверхностью штампа. Вследствие того, что температурное окно нахождения заготовки в твердожидком состоянии имеет узкий интервал значений, время возможности полного заполнения полости штампа металлом до его кристаллизации имеет также незначительную величину.

С этой точки зрения целесообразным является применение высокой скорости деформирования для быстрого заполнения всей полости штампа, прежде чем температура заготовки опустится ниже линии солидус.

Нагретая заготовка, обладающая свойствами тиксотропности, во время формоизменения проявляет свойства жидкотекучести. При этом скорость деформирования определяет характер течения твёрдожидкого металла. В зависимости от её величины он может быть ламинарным или турбулентным. Это условие ограничивает возможности по увеличению скорости деформирования, поскольку возникновение турбулентных потоков во время течения металла крайне негативно сказывается на качестве поковки. Такой эффект приводит к захвату воздуха металлом и, как следствие, возникновению большого количества пор, проникновению оксидной плёнки с поверхностных слоёв заготовки во внутренние области поковки.

После установки нагретой заготовки в штамп, скорость приближения деформирующего инструмента должна иметь максимальную величину. Это вызвано необходимостью сократить время контакта заготовки со штампом, так как градиент температур между заготовкой и инструментом приводит к быстрому подстыванию поверхности заготовки. Однако перед соприкосновением верхнего штампа с заготовкой необходимо снижение скорости до величины, недопускающей возникновения эффекта разбрызгивания. После касания 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).

Наиболее благоприятная кинематика ползуна при штамповке твёрдожидкого металла представлена на рис. 2.

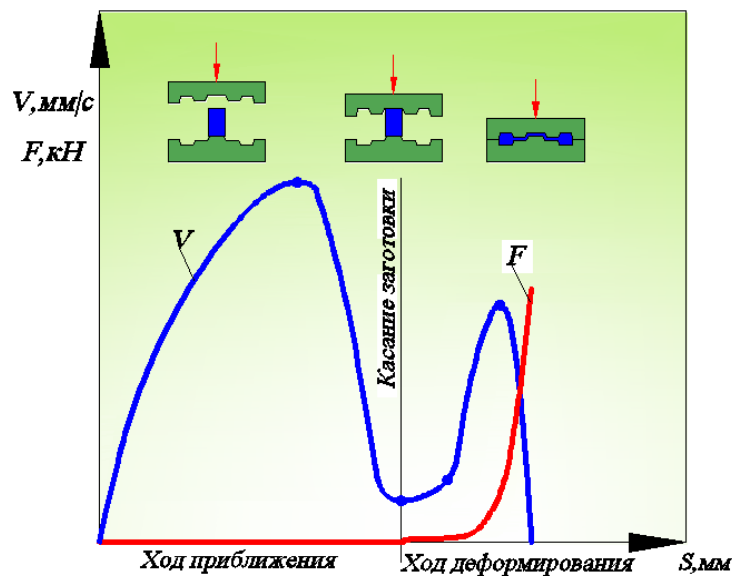


Рис. 2. Кинематика движения ползуна при штамповке металла в твёрдом состоянии

Интервалы варьирования скорости деформирования значительно шире в сравнении с интервалом варьирования температуры заготовки. Кроме того, технические возможности по реализации гибкости в управлении скоростью движения ползуна прессы выше. Однако следует также учитывать и геометрические особенности штамповой оснастки, где возможны места резкого изменения площади поперечного сечения. Это может привести к неравномерной скорости потока металла в различных областях штампа. Так что при неизменной скорости деформирования в штампе возможно возникновения одновременно и ламинарного, и турбулентного потоков, что может привести к снижению эффективности управления скоростью деформирования.

Температура нагрева штамповой оснастки в тиксотехнологиях имеет значительное влияние на процесс течения металла в штампе и, соответственно, на качественные характеристики поковки. Нагрев связан с необходимостью предотвратить преждевременное подстывание заготовки в штампе.

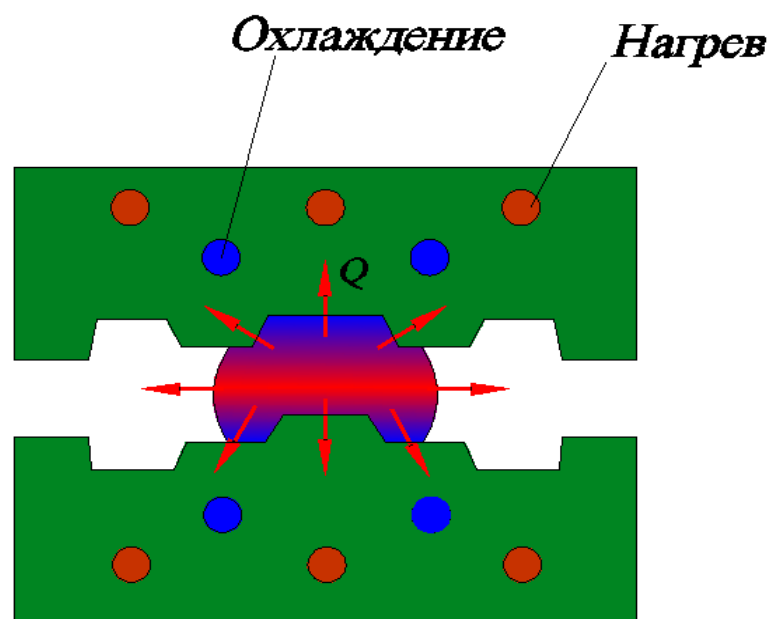


Рис. 3. Схема теплопередачи между заготовкой, окружающей средой и штампом

При контакте с более холодной штамповой оснасткой, заготовка быстро остывает, теряя при этом свойства жидкотекучести (рис 3). Это может привести либо к значительному увеличению силы деформирования, что негативно сказывается на износостойкости инструмента, либо к незаполнению полости штампа. Особенно это важно учитывать при штамповке поковок, имеющих большую площадь контакта с поверхностью штампа или продолжительное течение. Таким образом, нижняя граница интервала температур нагрева штамповой оснастки ограничивается возможностью заполнения штампового пространства металлом. Верхняя граница диапазона не должна превышать температуры, при которой смазывающие материалы штампа теряют свои свойства. В общем случае максимальная температура нагрева инструмента благоприятствует заполнению штампового пространства, в особенности если поковка имеет сложную геометрию. Однако здесь следует учитывать, что с увеличением температуры нагрева штампа увеличивается время кристаллизации деформированного металла и, соответственно, время охлаждения. В свою очередь увеличение продолжительности кристаллизации значительно повышает вероятность возникновения ликваций в металле, что негативно сказывается на качественных характеристиках поковки. С этой точки зрения желательным является увеличение градиента температур между заготовкой и штампом после окончания деформирования. Поэтому на практике в случае необходимости быстрого охлаждения поковки используется штампы, обладающие возможностью как контролируемого нагрева, так и контролируемого охлаждения. Как правило для этого применяются следующие системы [3]:

- электрические нагревательные патроны;
- электрические нагревательные патроны в комбинации с водяным охлаждением;
- прямой нагрев пламенем;
- системы нагрева/охлаждения с использованием воды, пара или минерального масла.

При использовании температуры штампа в качестве управляемого параметра следует учитывать высокую инерционность нагрева и охлаждения штампов. Это может снизить оперативность регулировки и потребовать изменения временного цикла штамповки.

Табл. 2. Стратегии управления и ограничения в их использовании

Стратегия управления	Ограничения в использовании выбранной стратегии
Управление заготовкой (температура нагрева заготовки)	- узкий интервал температурного окна штамповки; - Жёсткие требования к количественному содержанию твёрдой/жидкой фазы в объёме заготовки перед деформированием
Управление оборудованием (скорость деформирования);	- высокое содержание жидкой фазы в объёме заготовки перед деформированием; - наличие резких изменений в площади поперечного сечения полости штампа
Управление штамповым инструментом (температура нагрева штампового инструмента);	- температура нагрева близка с температуре, при которой изменяются свойства смазывающего вещества; - высокая металлоёмкость штамповой оснастки и, как следствие, высокая инерционность нагрева и охлаждения.

Выбирая стратегию управления, необходимо подробно изучить, насколько эффективен тот или иной способ регулировки для получения высококачественной поковки при заданных условиях штамповки, позволяет ли и насколько точно регулировать выбранный параметр используемое оборудование. Использование описываемых стратегий управления имеют ограничения, представленные в табл. 2.

При регулировании параметров штамповки в соответствии с выбранной стратегией важно знать, какова степень взаимовлияния этих параметров. Например увеличение температуры нагрева заготовки влечёт за собой повышение содержания 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. 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 твёрдожидкого металла с более холодным штампом. Недостаточный нагрев штамповой оснастки также способствует быстрому остыванию металла заготовки. Однако в данном случае варьирование скоростью деформирования необходимо проводить с учётом температуры заготовки. Нужно учитывать, что увеличение скорости деформирования без снижения температуры заготовки ограничивается возникновением описанных выше эффектов.

В таких случаях целесообразно использование двойных или тройных стратегий управления. С одной стороны это значительно увеличит общую управляемость и гибкость процесса штамповки, с другой - усложнит сам процесс управления. В силу сложности построения математической модели и алгоритма работы, такая система управления не всегда будет оправданной, так как её усложнение может привести к увеличению вероятности возникновения ошибок.

Возможности выбора стратегии управления в тиксотехнологиях широкие. Стратегию управления следует выбирать в зависимости от материала заготовки, геометрии поковки, конструкции штампа, требования к соотношению твёрдой/жидкой фазы в нагретой заготовке, технических возможностей применяемого оборудования. Однако при оценке выбранной стратегии следует принимать во внимание не только качественные характеристики полученной поковки, но и соотношение стоимость/эффективность работы, так как регулирование отдельных параметров штамповки может потребовать применения дорогостоящего и сложного оборудования.

Литература

1. *Klaus Siegert; Günther Messmer; Jens Baur; Andreas Wolf*. Thixoschmieden von Aluminumbauteilen; Tagungsband zur 7. Sächsischen Fachtagung Umformtechnik; 24 – 25. Oktober 2000; Chemnitz
2. Sonderforschungsbereich 289: Formgebung metallischer Werkstoffe im teilerstarrten Zustand und deren Eigenschaften; RWTH Aachen; Arbeits- und Ergebnisbericht 2002/2003/2004
3. *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. ISBN 3-88355-355-7.