

ТИКСОШТАМПОВКА СТАЛЕЙ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Шитиков А. А.

Студент, 3 курс

МГТУ им. Н. Э. Баумана

Кафедра «Технологии обработки давлением»

Научный руководитель: д.т.н. проф. Бочаров Ю. А.

Введение

Тиксоштамповка - стабильно развивающаяся технология обработки металлов в твердожидком состоянии - основана на открытом в 1978 году (М.С. Flemings, MIT) эффекте тиксотропности. Он заключается в том, что у металлов с глобулярной (не дендритной) структурой, находящихся в твердожидком состоянии (суспензии) значительно снижено сопротивление сдвиговым деформациям.

Тиксоштамповку проводят в узком температурном интервале, расположенном между линиями солидуса и ликвидуса (см. рисунок 1).

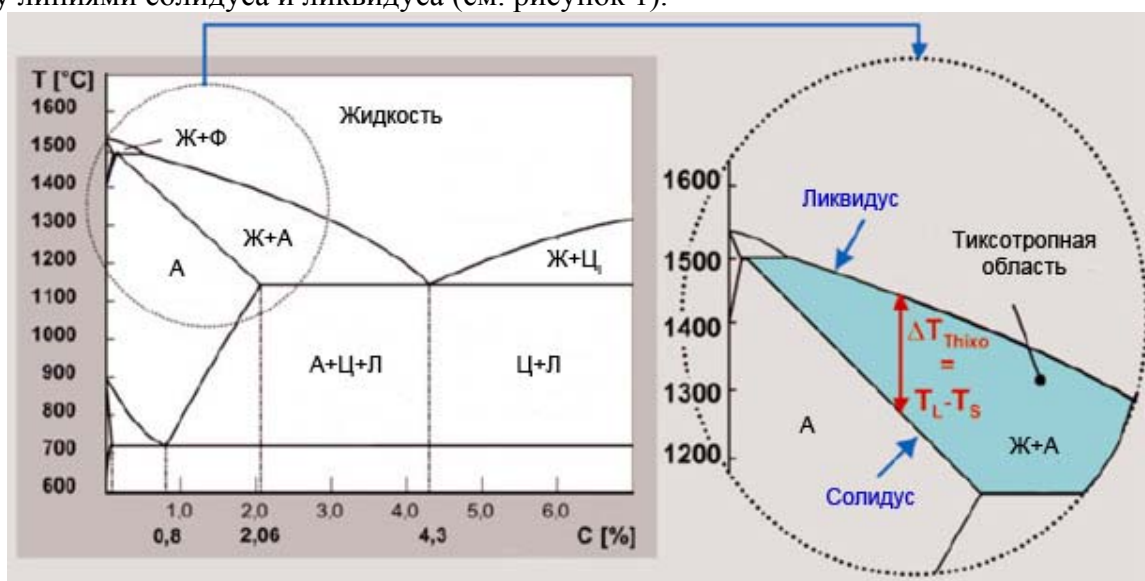


Рисунок 1. Диаграмма железо-углерод

С помощью тиксоштамповки можно производить детали сложной геометрической формы всего за один переход. Возможно получение таких конструктивных элементов, как канавки, выточки, отверстия малого диаметра, сочетание тонких и толстых стенок, малые радиусы скруглений. Можно штамповать трудно деформируемые и даже композитные материалы с незначительной последующей механической обработкой. Кроме того, посредством тиксотехнологии можно выполнять сборочные операции во время формоизменения (тиксосборка). Использование тиксоштамповки позволит сократить число этапов технологического процесса, сократить количество используемого инструмента, применять менее мощное оборудование.

В связи с тем, что эта технология уже успешно используется в промышленном производстве деталей из алюминиевых и магниевых сплавов, в последние годы появился интерес к тиксоштамповке сталей, однако, ее реализация вызывает значительные технологические трудности.

Сравнение тиксоштамповки и традиционных технологий обработки давлением

Для того, чтобы оценить преимущества тиксоштамповки, рассмотрим процессы производства выпускного коллектора автомобиля (см. рисунок 2) по обычной технологии и с помощью тиксоштамповки [1].



Рисунок 2. Выпускной коллектор

В настоящее время эта деталь производится свободной ковкой. При этом масса исходной заготовки должна быть в 1,8 раза больше массы откованной детали. На рисунке 3 показана последовательность переходов при ковке.



Рисунок 3. Этапы производства выпускного коллектора с помощьюковки:

1. Высадка
2. Ковка в предварительном ручье
3. Ковка в окончательном ручье
4. Обрезка облоя

По экономическим соображениям необходимо сократить выход материала в облой, с другой стороны, облой необходим для обеспечения полного заполнения штампа. Альтернативным способом производства выпускного коллектора является тиксоштамповка. С ее помощью можно сократить потери металла и снизить стоимость производства без существенного снижения механических свойств готовой детали. Для обеспечения совместимости с керамическими штампами (см. далее) выхлопной коллектор был переконструирован (см. рисунок 4).

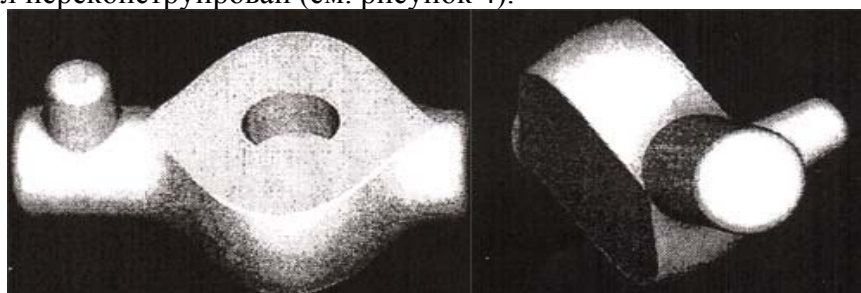


Рисунок 4. Новая конструкция выпускного коллектора

Результаты сравнения двух технологий производства выпускного коллектора представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение технологий производства выпускного коллектора

	Исходная ковванная деталь	Переконструированная тиксоштампованная деталь
Масса исходной заготовки, г	1342 / 2 детали	305
Масса одной детали перед механической обработкой, г	350	305
Масса обработанной детали, г	216	191
Масса облоя (отхода материала), приходящийся на одну деталь, г	321	0
Число переходов	3	1
Максимальная сила прессы, т	870 (для двух деталей)	<50 (для одной детали)

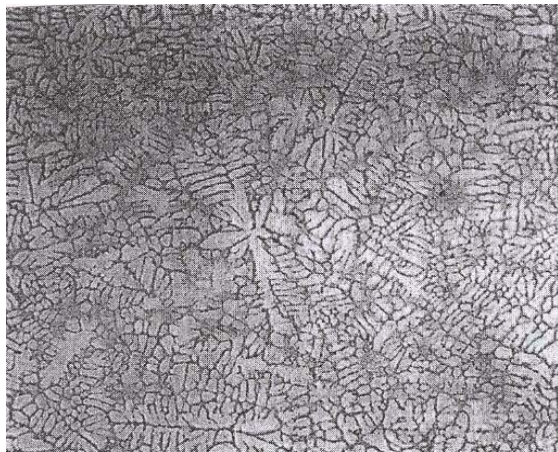
Технологический процесс тиксоштамповки

Для выяснения основных проблем, возникающих при тиксоштамповке сталей, рассмотрим последовательно стадии этого технологического процесса.

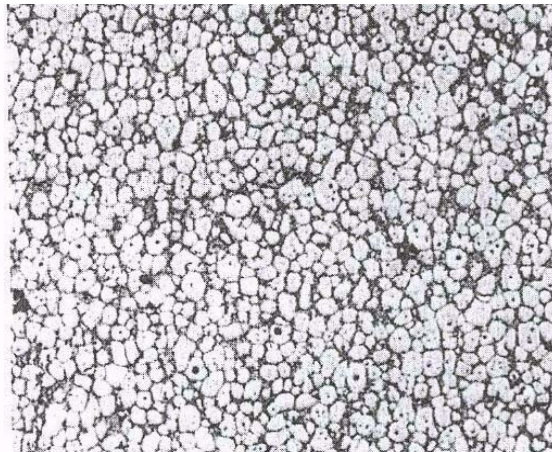
Получение заготовок

Для достижения эффекта тиксотропии необходимо сформировать глобулярную (а не дендритную - рис. 5а) структуру затвердевающей фазы сплава (рис. 5б). В такой системе даже при высокой доле твердой фазы сдвиг обеспечивает на короткое время (несколько секунд) и в узком температурном интервале ($\sim 10...40^{\circ}\text{C}$) возможность плавного течения суспензии как вязкой жидкости, позволяя заполнять сложные фасонные формообразующие полости при штамповке.

Сила, требуемая для осуществления формообразования в этих условиях, значительно снижается.



а)



б)

*Рисунок 5. а) обычная дендритная структура затвердевающего сплава;
б) глобулярная структура затвердевающего сплава*

Таким образом, до начала формообразования необходимо превратить металл в твердожидкую суспензию с глобулярной структурой твердых частиц, обладающую высокими тиксотропными свойствами. Металл в этом состоянии легко режется даже столовым ножом (тест на сохранение свойства тиксотропности).

Процесс преобразования расплавленного металла в твердожидкую суспензию может осуществляться на основе управления процессом кристаллизации, например, путем добавления модификаторов в расплав или выращивания кристаллов дендритной формы с последующим их разрушением в местах ветвления путем интенсивного теплового или силового (механического), электромагнитного или ультразвукового воздействия (см. рисунок 6).

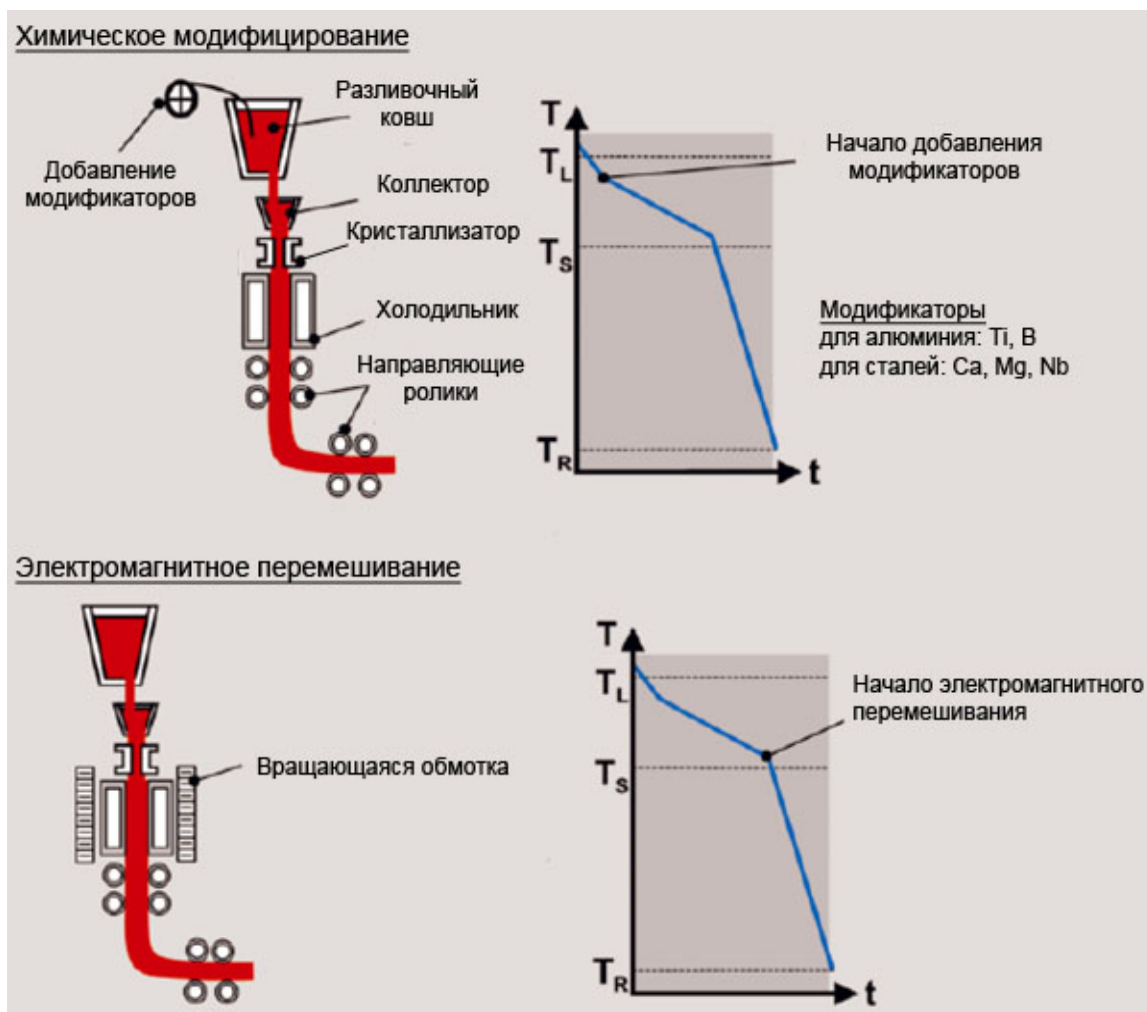


Рисунок 6. Методы получения глобулярной структуры при кристаллизации

В производственных условиях применяют технологию тиксоштамповки, состоящую из двух этапов:

- 1) изготовление первичных твердых заготовок с глобулярной структурой на металлургическом производстве, например, в виде прутков;
- 2) полученные первичные заготовки на машиностроительном предприятии делят на мерные заготовки нужного объёма, нагревают до температуры твердожидкого состояния (суспензии) и штампуют.

Таким образом, при тиксоштамповке металлургический процесс расплава и изготовления первичных твердых заготовок с глобулярной структурой отделен от процесса тиксоштамповки во времени и в пространстве.

Повторный нагрев

Целью повторного нагрева является получение однородного твердожидкого состояния заготовки с контролируемым содержанием твердой фазы и требуемыми размерами сферических частиц. При этом к нагреву предъявляются противоречивые требования.

С экономической точки зрения, нагрев должен проводиться за минимальное время, это позволит повысить производительность и снизит потери металла, вызванные окислением заготовки.

С другой стороны, для тиксоштамповки необходимо равномерное распределение температуры в объеме заготовки, что требует применения выдержки до установления изотермических условий. Кроме того, температура заготовки должна находиться в пределах узкого температурного интервала. Для выяснения возможных последствий

неточного нагрева рассмотрим результаты испытания на сжатие образца из стали X210CrW12(X12B). В соответствии с графиком на рисунке 7 можно выделить следующие температурные зоны:

- 1) 1200-1220°C: верхняя граница температурной зоны горячей объемной штамповки. Материал не разрушается. Границы зерен становятся видимы из-за оплавления.
- 2) 1230-1240°C: возрастает содержание жидкой фазы в объеме заготовки, она скапливается на границах зерен, вследствие чего они легко разделяются при приложении нагрузки. Материал становится очень хрупким и не поддается формоизменению.
- 3) 1250-1320°C: зерна полностью окружены большим объемом жидкой фазы, служащей связующим веществом. Твердые частицы имеют глобулярную форму. Почти не требуется усилия для деформирования металла в этом состоянии. Подобная суспензия называется тиксотропной.
- 4) 1320°C: содержание жидкой фазы достигает 60%. Дальнейшее увеличение температуры приводит к потере устойчивости заготовки и ее непригодности для транспортирования.

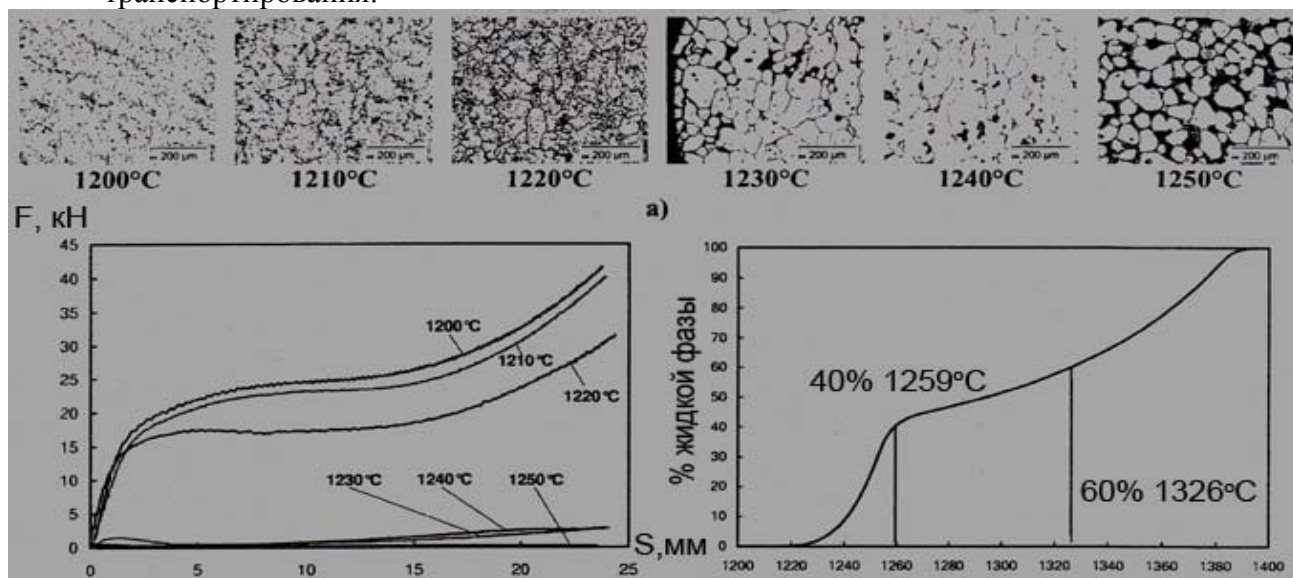


Рисунок 7. Результаты испытаний на сжатие для стали X210CrW12(X12B) при различных температурах:

- а) Структура
- б) Кривые нагружения
- в) Содержание жидкой фазы

Таким образом, можно сформулировать требования, предъявляемые к нагревательной установке:

1. нагрев должен производиться в индукторах, обеспечивающих высокую скорость нагрева и возможность ее изменения путем управления мощностью нагревателя;
2. для обеспечения воспроизводимости нагрева необходимо программное управление мощностью индуктора;
3. для предотвращения окисления нагрев необходимо производить в защитной газовой атмосфере.

Транспортировка

Следующим звеном технологической цепи является транспортирование нагретой заготовки непосредственно к прессу. При этом возникают неизбежные потери температуры заготовки, вызванные теплообменом через свободные поверхности и контакт со схватом манипулятора.

На рисунке 8 показана возможная конструкция манипулятора для тиксоштамповки.

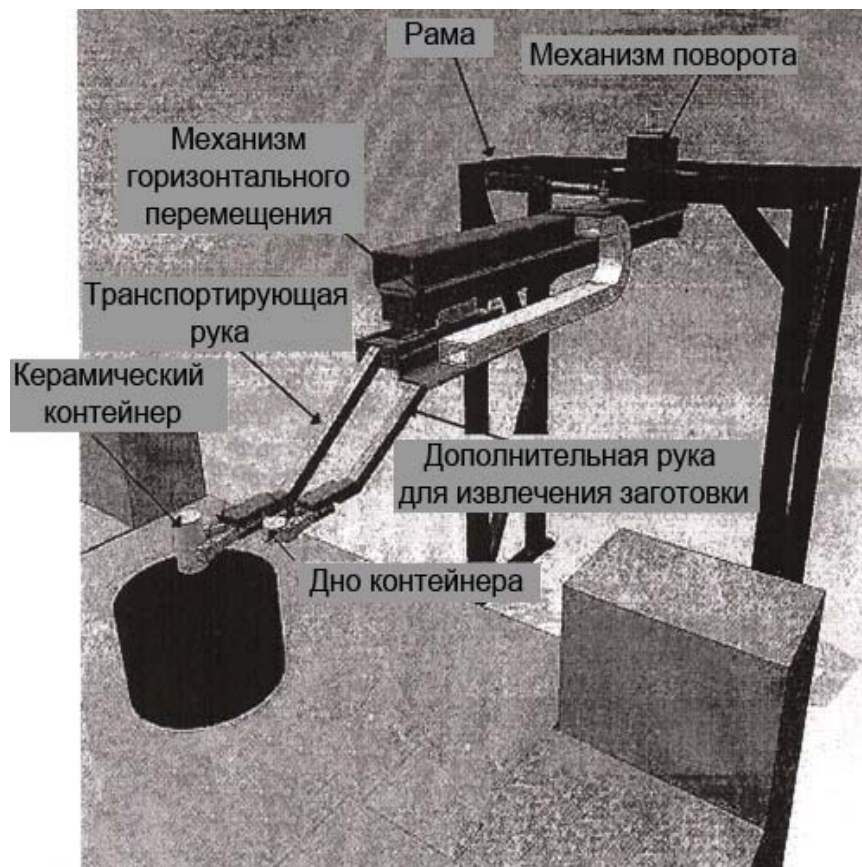


Рисунок 8. Манипулятор для подачи заготовок к прессу

В данной конструкции для уменьшения теплообмена и окисления заготовку перемещают в керамическом контейнере, заполненном аргоном или азотом. При установке контейнера на инструмент дополнительная рука робота убирает дно контейнера, заготовка освобождается, после чего манипулятор отводится в сторону.

Формоизменение

Рассмотрим классификацию процессов формоизменения в тиксотропном состоянии. Согласно [3], можно выделить следующие тиксотехнологии (см. рис. 9): тиксоштамповку в предварительно закрытых штампах, тиксоштамповку в обычных штампах.

Тиксоштамповку в предварительно закрытых штампах применяют на прессах двойного действия. После загрузки штампы смыкают и удерживают вместе силой F_s . Формоизменение осуществляется пуансоном, к которому приложена сила F_p . Предварительное сжатие штампов препятствует образованию пористости детали.

Тиксоштамповку в обычных штампах производят на прессах простого действия. Формоизменение осуществляется силой F_p , приложенной к верхнему штампу. Данная технология является менее предпочтительной, так как возможно вытекание металла из полости штампа в процессе его смыкания.

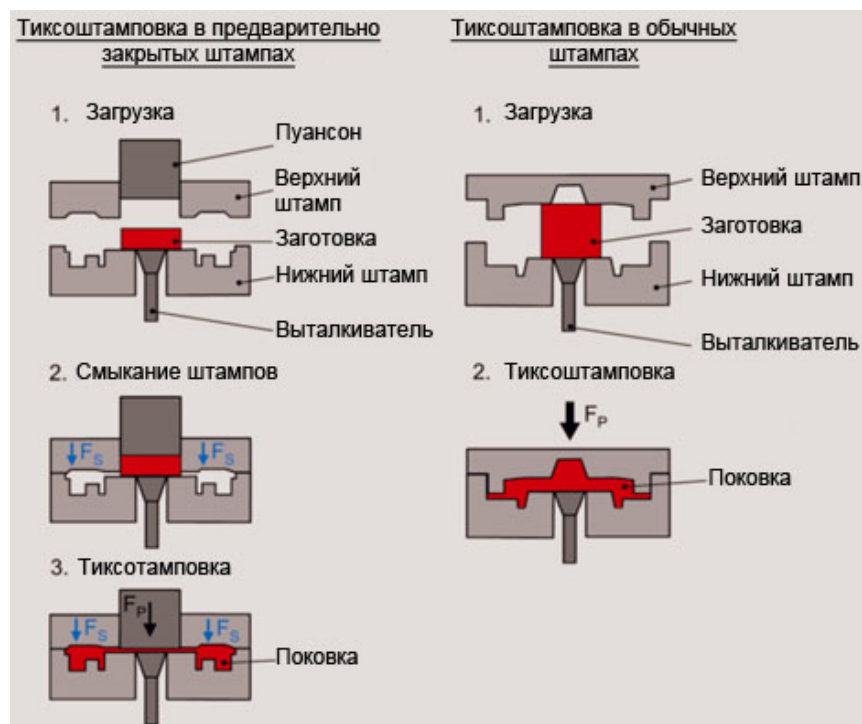


Рисунок 9. Обзор технологий формоизменения в тиксотропном состоянии

Для управления тепловым балансом между заготовкой и штампом необходимо использование дополнительных нагревательных устройств и регулируемого водяного охлаждения. Управление этими устройствами должно осуществляться автоматически.

Основной проблемой при формоизменении в твердожидком состоянии является выбор материала штампов, которые должны выдерживать не только большие нагрузки, но и высокую температуру. В настоящее время существуют два подхода к решению этой проблемы: разработка тугоплавких сталей, с высоким содержанием W и Mo, при использовании уже существующих сталей отмечается недостаточная стойкость штампов, либо использование керамических армированных штампов.

По результатам исследований [1], установлено, что керамические материалы на основе различных оксидов обладают исключительной химической стабильностью и не вступают в химические реакции со сталью при высоких температурах, однако их механические свойства недостаточны для тиксоштамповки. Поэтому в настоящее время разрабатываются керамические материалы на основе кремния, не содержащие оксидов. Особенно многообещающими являются керамические материалы на основе Si_3N_3 , так как они обладают хорошими механическими свойствами при температурах до 1500°C . К сожалению, при контакте со сталью в присутствии кислорода воздуха при высокой температуре происходит образование силицидов железа, что приводит к появлению контактной коррозии. Для повышения химической стойкости используют добавки ZrO_2 и HfO_2 . Эти оксиды образуют твердые растворы с Fe_2O_3 , жидкая фаза которых образуется при температурах значительно превышающих 1500°C . Еще большей стойкости штампов можно добиться при проведении процесса формоизменения в защитной атмосфере.

Закалка

После завершения формоизменения штампы размыкаются, заготовка автоматически выталкивается и удаляется из рабочей зоны. Для сохранения полученной микроструктуры необходимо произвести закалку в воде. После этого деталь можно подвергнуть окончательной механической обработке.

Заключение

Тиксоштамповка — технологический процесс формоизменения металлов в твердотелом состоянии — является современным высокотехнологичным производством и позволяет получать сложные изделия при высокой точности размеров.

Основными проблемами являются: обеспечение равномерного воспроизводимого нагрева заготовок, стойкость штампов. Кроме того, очень узкое технологическое окно процесса требует применения комплексных автоматизированных систем управления на всех стадиях технологического процесса. На рисунке 10 представлена структурная схема подобной системы.



Рисунок 10. Автоматизированная система управления производственным процессом

Литература

1. “Introduction of a full automated process for the production of automotive steel parts”, Bernd-Arno Behrens, Dirk Fischer, Bjoern Haller, Ahmed Rassili, Hagen Klemm, Andre Flüß, Bengt Walkin, Mikael Karlsson, Marc Robelet, Alberto Cucatto
2. “Investigations of basic data for the semi-solid forging of steels”, Hideki Shimahara, Reiner Kopp
3. Abdelfattah, S.: “Thixoschmieden im geschlossenen Gesenk zur Herstellung komplexer Stahlbauteile”, dissertation am Fachbereich Maschinenbau, Universität Hannover, 2002