

УДК 621.73

**Применение технологий тиксоформования в современном  
двигателестроении**

**И.Я. Белоусов, И.М. Койдан, В.В. Первушин**

АО АХК «ВНИИМЕТМАШ» им. А.И. Целикова

**Thixoforming technologies in modern engine construction**

**I.Y. Belousov, I.M. Koydan, V.V. Pervushin**

VNIIMETMASH, Russia

*Современный уровень развития технологий твёрдожидкого формования алюминиевых сплавов в нашей стране, несмотря на сохраняющееся отставание от стран Запада, уже сейчас может предложить новые технологические решения для двигателестроения. В статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку промышленной технологии изготовления поршней методами тиксоформования. Показана возможность применения данной технологии как для обработки алюминиевых литейных сплавов, так и деформируемых сплавов. Результаты механических испытаний подтверждают перспективность применения технологий тиксоформования для изготовления поршней двигателя внутреннего сгорания.*

*Ключевые слова: тиксоформование, твёрдожидкое формование, поршень, алюминиевый сплав, глобулярная структура.*

*The actual level of semi-solid forming technologies of aluminium in our country, despite the lag from the Western countries, can now offer new technological solutions for the engine construction. The article presents the results of experimental researches aimed at the development of manufacturing technologies for the production of pistons by thixoforming technologies. The possibility of application of this technology for processing of aluminum cast alloys and wrought alloys is shown. The results of the mechanical tests confirm*

*the availability of application of thixoforming technologies for the production of pistons for internal combustion engine.*

*Keywords: thixoforming, semi-solid forming, piston, aluminum cast alloys, globular microstructure*

Развитие автомобильной техники на современном высококонкурентном рынке с учётом повышающихся требований к надёжности, экономичности, экологичности невозможно без соответствующих достижений в области двигателестроения. Успешная реализация новых конструкторских разработок зачастую зависит от наличия технологий, которые позволяют изготовить компоненты создаваемых механизмов с заданными эксплуатационными свойствами. Вместе с тем обладание современными технологиями способно повысить конкурентоспособность уже существующих разработок двигателей путём снижения массы компонентов, повышения их эксплуатационных характеристик, снижения стоимости изготовления.

Одним из наиболее нагруженных компонентов двигателя внутреннего сгорания является поршень. Поршень представляет собой деталь, испытывающую в процессе работы двигателя экстремально высокие механические и тепловые нагрузки. Эксплуатационные и физико-механические свойства этой детали во многом определяют рабочие характеристики двигателя.

На сегодняшний день наибольшее распространение для изготовления алюминиевых поршней двигателей внутреннего сгорания получили технологии литья в кокиль, горячей объёмной штамповки и жидкой штамповки [1].

Выбор технологии изготовления в каждом конкретном случае опирается на оптимальное сочетание требуемых эксплуатационных

характеристик детали и стоимости её изготовления. Так, высокие физико-механические характеристики штампованных поршней сопряжены с высокой стоимостью их изготовления. Стоимость изготовления поршня снижается при применении технологии литья в кокиль. Однако при этом физико-механические характеристики изделия также снижаются, в том числе за счёт использования литейных алюминиевых сплавов, менее жаропрочных в сравнении с деформируемыми сплавами. С другой стороны, применение литейных технологий в производстве поршней позволяет изготавливать цельные поршни с галерейным охлаждением, упрочняющими керамическими вставками и нирезистовым кольцом.

Повысить физико-механические механические характеристики литого поршня позволяет приложение дополнительной сдавливающей силы на формообразующий инструмент во время кристаллизации металла. Жидкая штамповка алюминиевых поршней допускает применение как литейных, так и деформируемых сплавов, позволяет использование упрочняющих керамических вставок и нирезистовых колец. АО АХК «ВНИИМЕТМАШ» имеет богатый опыт изготовления таких поршней. В институте разработаны и отработаны технологии изготовления поршней ДВС методами жидкой штамповки различных типоразмеров как с применением упрочняющих вставок, так без них (Рис. 1).



Рис. 1. Заготовки поршней для дизельного двигателя из сплава АК12М2МгН с применимее керамической вставки и нирезистового кольца

Появление и развитие новых технологий твёрдожидкого формования сформировало условия для разработки перспективных технологических процессов изготовления деталей машин и механизмов. Большая группа технологических процессов, таких как тиксоштамповка, реолитьё, тиксомолдинг, новое реолитьё и другие, объединены общим принципом формования изделия из металлического сплава, находящегося в твёрдожидком состоянии. Это позволяет объединить в одном технологическом процессе основные преимущества общеизвестных технологий горячей объемной штамповки и литья. Содержание твёрдой фазы в заготовке позволяет минимизировать характерные для литейных технологий дефекты, в то время как содержание жидкой фазы позволяет заполнять сложную геометрию формообразующей полости за одним штамповочным переходом [2].

Такие характеристики тиксотехнологии получили за счёт наличия в материале заготовки мелкозернистой глобулярной микроструктуры. Равномерное распределение глобулярных зёрен в эвтектической матрице, имеющей более низкую температуру плавления, обеспечивает переход заготовки в устойчивое твёрдожидкое состояние в течение определенного

промежутка времени при нагреве до заданной температуры. Существенным плюсом технологий твёрдожидкого формования является возможность изготавливать детали как из алюминиевых деформируемых, так и алюминиевых литейных сплавов.

В АО АХК «ВНИИМЕТМАШ» на основе технологий твёрдожидкого формования были разработаны и предложены технологические процессы тиксоштамповки различных деталей, в том числе поршней различного типоразмера для двигателей внутреннего сгорания из алюминиевого литейного сплава АК12М2МгН и деформируемого сплава АК4. Технологическая схема тиксоформования поршня представлена на Рис.2. Твёрдожидкая заготовка с специально подготовленной глобулярной структурой устанавливается в штамп, после чего за один штамповочный переход выполняется формование с последующей кристаллизацией металла под давлением.

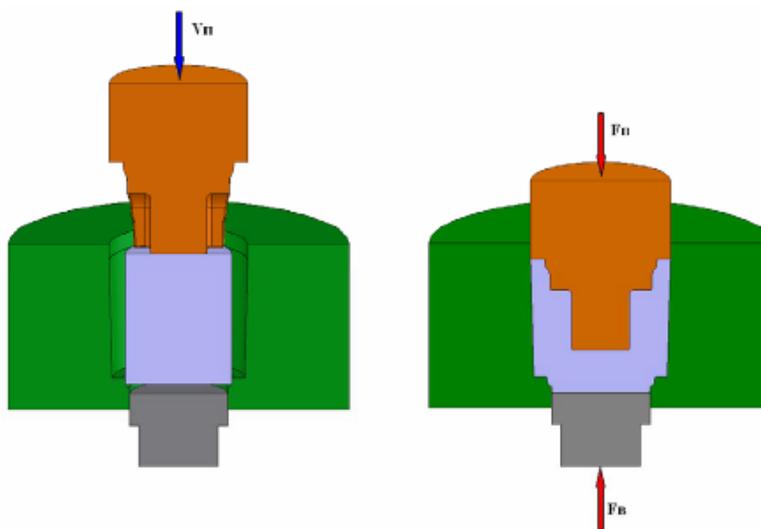


Рис. 2. Схема тиксоформования заготовки поршня ДВС

Сходство технологической схемы тиксоформования заготовки поршня ДВС как с объёмной горячей штамповкой, так и жидкой штамповкой, позволяет избежать существенных затрат при переводе производства с этих технологий на тиксоформование. Процесс

формирования глобулярной микроструктуры в тиксозаготовке заключается в создании различного рода воздействий на расплав, препятствующих образованию дендритных зёрен во время кристаллизации. На сегодняшний день существует ряд различных способов изготовления заготовок с глобулярной структурой, однако, как отмечается в литературе [3], [4], в мировой практике наибольшее распространение получили методы кристаллизации жидкого металла, затвердевающего в условиях механического или магнитогидродинамического (МГД) перемешивания. В России основная часть работ ведётся в направлении изучения методов разлива на наклонный охлаждаемый жёлоб [5] и МГД-перемешивания [6].

Технологические режимы литья тиксозаготовок из различных алюминиевых сплавов были разработаны в МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора Семёнова Б.И. На Рис. 3 представлена микроструктура тиксозаготовок из сплава АК12М2МгН, изготовленных в МГТУ им. Н.Э.Баумана методом разлива на наклонный водоохлаждаемый жёлоб для проведения экспериментальной штамповки.



Рис. 3. Микроструктура заготовки из сплава АК12М2МгН

Технологический процесс тиксоформования заготовки поршня включает в себя:

- нагрев тиксозаготовки до твердожидкого состояния;

- установка твёрдой заготовки в штамп;
- формование изделия за один рабочий ход пресса;
- выдержка кристаллизующегося металла под давлением;
- извлечение изделия из штампового пространства.

Изготовление опытных образцов заготовок поршней проводилось на универсальном гидравлическом прессе ДБ 2436 усилием 4 МН с инструментальной оснасткой, предназначенной для жидкой штамповки. Нагрев тиксозаготовок перед штамповкой до требуемой температуры проводился в муфельной печи сопротивления модели ЮТ-217 «ЮНИТЕРМ», оснащенной программируемым устройством поддержания температуры. Для контроля температуры нагрева заготовок использовалась зачеканенная в заготовку кабельная термопара в комплекте с измерительным прибором. С целью минимизации влияния оксидной плёнки на качество изделия нагрев заготовки осуществлялся в защитной среде аргона.

В результате проведения опытной штамповки были получены образцы заготовок поршней. Точное соблюдение всех технологических режимов позволяло получать бездефектные изделия требуемого качества (Рис. 4).



Рис. 4. Разрезы опытных образцов заготовок поршня КАМАЗ 7405 из сплавов АК12М2МгН (слева) и АК4 (справа)

Дальнейшая термообработка образцов заготовок поршней перед проведением механических испытаний проводилась в соответствии с режимом Т6. Результаты механических испытаний, представлены на Рис. 5,6.

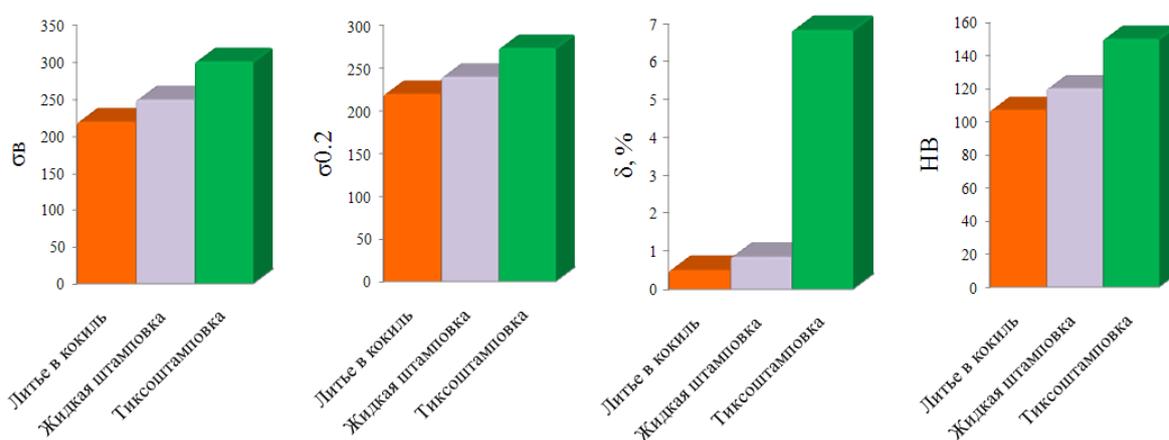


Рис. 5. Результаты механических испытаний для сплава АК12М2МгН

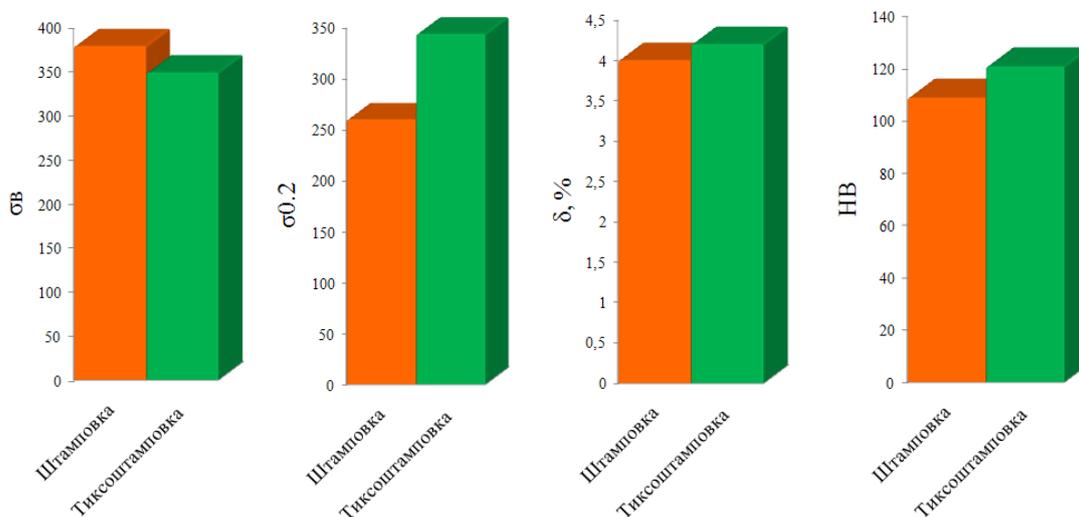


Рис. 6. Результаты механических испытаний для сплава АК4

Анализ результатов механических испытаний показал, что физико-механические характеристики деталей, полученных тиксоштамповкой из алюминиевого литейного сплава АК12М2МгН, превышают аналогичные характеристики деталей, изготовленных традиционными методами литья и

жидкой штамповки. В тоже время, применение технологии тиксоформования для переработки деформируемого алюминиевого сплава АК4 на данный момент не позволило комплексно увеличить физико-механические характеристики изделия в сравнении с аналогичными характеристиками, обеспечиваемыми горячей объёмной штамповкой. Предполагается, что наиболее вероятной причиной такой разницы между свойствами деталей является наличие зернограничной пористости в структуре тиксозаготовки, формируемой на этапе разлива в форму. Кроме того, допускается возможность попадания части оксидной плёнки с поверхности тела заготовки, что отрицательно сказалось на её механических свойствах. Вместе с тем следует учесть, что, несмотря на незначительный проигрыш в показателях механических свойств тиксоштампованных поршней в сравнении с горячештампованными, применение технологии твёрдожидкого формования имеет потенциал значительного снижения стоимости изготовления единицы изделия. Вопрос отставания механических свойств тиксоштампованных изделий от горячештампованных на сегодня остаётся открытым и является предметом дальнейших исследований, имеющих, как показали результаты уже выполненных работ и исследований, высокие перспективы преодоления этого отставания.

### Заключение

Результаты экспериментальных исследований подтвердили перспективность применения технологий тиксоформования для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания. Потенциальные возможности для дальнейшего повышения физико-механических характеристик тиксоштампованных изделий одновременно со снижением затрат на изготовление единицы изделия представляются существенным

стимулом для дальнейшего развития и широкого применения этих технологий в двигателестроении. При этом следует отметить, что успешность работы в данном направлении во многом опирается на широкую кооперацию и тесное сотрудничество производственных предприятий с научно-исследовательскими институтами и университетами.

#### Литература:

- [1]. Басюк Т.С., Бузинов В.Г., Поседко В.Н., Федоренко И.Н., Шибяев О.В. *Технология изготовления кованных поршней*. Автомобильная промышленность. 2012г. №04. С. 29-31
- [2]. Wahlen A. *Modeling the thixotropic flow behavior of semi-solid aluminum alloys*. Proc. of 6-th Intern. Conf. Semi-Solid Processing of Alloys and Composites. Turin (Italy), 2000. P. 565-570.
- [3]. Семёнов Б.И., Мельников Н.А. *Принципы и техпроцессы получения точных заготовок из сплавов, находящихся в твёрдожидком состоянии*. Metallurgia машиностроения. 2001. №1. С. 36-43.
- [4]. Moschini R. *Manufacture of Automotive Components by Semi-Liquid Forming Process*. Proceedings of the international conference on the semi solid processing of alloys and composites. 1992. P.149-158.
- [5]. Семёнов Б.И., Куштаров К.М. *Производство изделий из металла в твёрдожидком состоянии*. Новые промышленные технологии: Учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 223с.
- [6]. Борисов В.Г. *Технология производства фасонных изделий из алюминиевых сплавов методом тиксоформовки. Проблемы и решения*. Технология лёгких сплавов. 2016. №2. С.71-79.