

## **5.5. Особенности формирования свойств чугунных заготовок гильз цилиндров дизелей при центробежной отливке в постоянные металлические формы**

Центробежное литье в металлические постоянные формы получает наиболее широкое применение при производстве чугунных заготовок гильз блока цилиндров различных двигателей, поршневых насосов и компрессоров.

Технологический процесс получения отливок гильз цилиндров автотракторных двигателей центробежным способом в кокиле имеет ряд преимуществ по сравнению с центробежной отливкой в песчано-глинистые стержни:

- долговечность формы;
- полное исключение работ с формовочными смесями;
- уменьшение шероховатости поверхности;
- повышение точности отливки;
- увеличение плотности отливаемых заготовок;
- уменьшение припусков на обработку;
- уменьшение негативного влияния на окружающую среду;
- повышение производительности труда в 1,5-6 раз.

Однако следует упомянуть о недостатках, присущих данной технологии:

- неоднородность структуры металла по сечению отливки;
- возможность образования поверхностного отбела чугуна;
- необходимость регулярного покрытия кокилей теплоизолирующими материалами.

Рассмотрим более подробно характерные особенности формирования отливок, получаемых центробежным способом в кокиле из доэвтектических чугунов, идущих на изготовление гильз цилиндров ДВС.

Микроструктура гильз в тех случаях обеспечивает высокую износостойкость, когда представляет собой перлитную матрицу высокой

степени дисперсности перлита и средние по разветвленности колонии графита. Получение в центробежных отливках такой структуры сопряжено с рядом сложностей.

При соприкосновении расплава чугуна с поверхностью металлического кокиля разность температур между расплавом и поверхностью кокиля достигает величины порядка 1000 °С. В результате этого кристаллизация происходит с высокой скоростью, следствием чего является появление в структуре междендритного графита, что снижает антифрикционные характеристики чугуна. Скорость охлаждения все еще остается высокой и после кристаллизации отливки. Поэтому последующие структурные превращения происходят в метастабильном состоянии с появлением в структуре чугуна цементита, занимающего большую часть площади шлифа. На наружной поверхности отливки, соприкасающейся с кокилем, микроструктура может состоять полностью из цементита.

В результате глубокого переохлаждения жидкой фазы в наружном слое заготовки образуется структура белого или половинчатого чугуна. Далее располагается зона со структурой, характерной для переохлаждения графитной эвтектики, пронизанная в случае заливки чугуна доэвтектического состава тонкими, сильно разветвленными дендритами первичного аустенита. Только над этой зоной кристаллизация чугуна протекает без значительного переохлаждения, что приводит к возникновению обычных для серого чугуна структурных составляющих. После извлечения заготовки из металлического кокиля резко замедляется теплоотвод от ее поверхности. В результате теплопередачи от внутренних объемов металла к наружным ранее образовавшаяся цементитная фаза распадается, т.е. происходит самоотжиг заготовки.

Влияние скорости кристаллизации на формообразование графита весьма существенно. При высокой скорости кристаллизации образуется белый чугун, имеющий полностью связанный углерод. При очень малой скорости кристаллизации образуется серый ферритный чугун. Для образования чисто

перлитной структуры металлической матрицы требуется точное определение термодинамических свойств формы при данном химсоставе чугуна, массе отливки, толщине стенки и температуре заливки металла. Снижение скорости кристаллизации способствует образованию в структуре равномерно распределенного графита без наличия междендритного и точечного графита.

Сравнивая между собой скорость охлаждения чугуна при литье в песчано-глинистые формы и при отливке в металлический кокиль (принимая во внимание при этом микроструктуру чугуна), приходим к выводу, что для получения износостойкой структуры серого чугуна, отливаемого в кокиль, необходимо замедлить скорость охлаждения отливки в интервале критических температур кристаллизации, приблизив ее, по возможности, к соответствующим величинам при литье в песчано-глинистые формы.

Кокиль – металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заливаемая расплавленным металлом. Материал кокиля оказывает определяющее значение на его термодинамические свойства.

Многие заготовки кокилей изготавливают литьем. К материалу литых кокилей предъявляют высокие требования по литейным свойствам (повышенная жидкотекучесть, минимальная усадка, повышенная трещиностойкость) и обрабатываемости резанием. Именно этим объясняется необходимость использования для получения заготовок кокилей сплавов с перлитной структурой.

Заготовки кокилей чаще всего изготавливают из чугунов марок СЧ15, СЧ20, так как это обеспечивает хорошую обрабатываемость и высокое качество поверхности. Стенки чугунного кокиля в пределах одной марки сплава и при одинаковых температурах часто отличаются по стойкости к теплосменам. При этом стойкость чугунного кокиля существенно зависит от химического состава и структуры (графита и металлической основы) сплава.

Следует отметить, что с уменьшением содержания в сером чугуне серы, фосфора и марганца стойкость кокиля увеличивается. С повышением содержания в чугуне алюминия трещиностойкость его существенно

возрастает. При добавке в чугун олова в качестве перлитизатора стойкость кокиля увеличивается примерно на 25...30 %. Легирование хромом и молибденом повышает стойкость кокилей в условиях повышенных температурных нагрузок. В этих же целях применяют высокопрочный чугун (ВЧ45, ВЧ50 и т.д.), имеющий ферритно-перлитную структуру и шаровидный графит, а также чугун с вермикулярной формой графита. Однако проблемы стойкости кокилей и их теплоизоляции продолжают существовать.

Стойкость кокиля – способность металлической формы до ее разрушения или недопустимого коробления выдерживать определенное число заливок в нее расплава. Работа кокиля в режиме термоциклирования приводит к выходу его из строя. Причиной выхода из строя кокиля являются:

- растрескивание;
- коробление;
- сетка разгара;
- трещины на рабочей поверхности;
- механические повреждения;
- сочетания перечисленных разрушений.

Технологические методы повышения термостойкости кокиля заключаются, как правило, в химико-термической и другой обработке его рабочей поверхности, а именно:

- алитировании;
- силицировании;
- поверхностном легировании;
- анодировании;
- высокотемпературной наплавке и напылении;
- армировании.

Насыщение поверхности металлических изделий алюминием на глубину 0,02...1,2 мм повышает их жаростойкость (до 1100 °С) и окалиностойкость.

Поверхностное силицирование – внедрение в материал кокиля кремния, содержащегося в газовой среде, – повышает жаростойкость, коррозионную стойкость, износостойкость кокилей.

Насыщение рабочей поверхности на глубину 1...3 мм легирующими элементами повышает жаростойкость кокилей из чугуна и стали.

В практике используется также напыление – нанесение вещества в дисперсном состоянии на поверхность изделия с целью придания ему защитных свойств или получения тонких эпитаксиальных пленок. Их применяют для повышения жаростойкости кокилей, а также для заделывания на их рабочей поверхности сетки разгара и других тонких трещин.

Нормализацию с последующим отпуском чугунных кокилей производят для снятия литейных и механических остаточных напряжений и изменения структуры сплава кокиля.

При проведении опытных работ на ПО “Киевтрактородеталь” в качестве исходного был принят вариант тепловой защиты рабочей поверхности кокилей в виде слоя теплоизолирующего покрытия, имеющего состав:

- феррохромистый шлак марки СФШ (насыпная плотность 900...1140 кг/м<sup>3</sup>);
- чугунная стружка (насыпная плотность 3400...3600 кг/м<sup>3</sup>).

Массовое соотношение смеси:

- феррохромистый шлак – 90 %;
- чугунная стружка – 10 %.

Толщина покрытия 0,75 мм. Для его удержания на рабочей поверхности кокиля создается специальный рельеф с высокой шероховатостью  $R_z \leq 320$  мкм. Теплоизолирующая присыпка призвана снижать тепловые удары жидкого металла на форму. Покрытие наносится перед каждой заливкой металла.

Однако кокили из чугуна и стали имеют высокую теплопроводность, и вероятность отбела чугунных заготовок, особенно по торцам, очень велика.

5.1.1. Регулирование термодинамических процессов при кокильном литье чугунных заготовок. Как отмечалось выше, при литье в кокиль чугунных отливок (особенно тонкостенных) всегда имеется вероятность получения их с отбелом, т.е. со структурой цементита, которая характеризуется повышенной твердостью, хрупкостью и усадкой.

При литье цилиндрических заготовок на ПО “Киевтрактородеталь” в качестве материала кокиля используется серый чугун марок СЧ20, СЧ25. Он имеет удовлетворительные теплофизические свойства [200], сохраняющиеся при повышенных температурах (табл. 5.2).

Однако параметры теплопроводности, теплоемкости, смачивания чугуном не позволяют использовать данные кокили без теплоизоляционного покрытия или с его минимальной толщиной.

Таблица 5.1

Изменение теплофизических свойств чугуна в зависимости от температуры

Температура, °С	Коэффициент термического расширения, $1/10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$	Теплоемкость, Дж / (кг·°С)	Теплопроводность, Дж / (см·с·°С)
60	10,0	$0,50 \cdot 10^3$	$0,54 \cdot 10^3$
160	11,0	$0,52 \cdot 10^3$	$0,50 \cdot 10^3$
260	13,1	$0,55 \cdot 10^3$	$0,48 \cdot 10^3$
360	13,7	$0,58 \cdot 10^3$	$0,46 \cdot 10^3$
510	15,9	$0,62 \cdot 10^3$	—

Чем толще покрытие рабочих стенок кокиля, тем больше вероятность получения чугунных отливок без отбела. Теплоизоляционное покрытие при литье серого чугуна не только предохраняет кокиль от разрушений в результате рабочих теплосмен, но и одновременно уменьшает скорость затвердевания и охлаждения расплава, предупреждает образование структуры отливки с поверхностным или сквозным отбелом.

Создавая различную толщину покрытия и регулируя ее теплопроводность, можно управлять скоростью и направлением затвердевания расплава при формировании отливки, а также режимом ее охлаждения. В момент контакта расплава с покрытием по его толщине создается значительный перепад температур. При этом чем толще покрытие, тем больше перепад температур в системе “расплав – покрытие – кокиль”. Вследствие этого уменьшается температурный перепад по толщине стенки кокиля и отливки. При этом замедляется скорость охлаждения отливки и улучшается отвод теплоты и охлаждение кокиля. Все это существенно уменьшает температурные напряжения в кокиле и получаемой отливке.

Из приведенного следует, что температурный режим и условия формирования отливки в кокиле находятся в прямой зависимости от состава и толщины защитного покрытия.

Однако существенное влияние на термодинамические процессы структурообразования отливок из серого чугуна может оказать материал кокиля. Снижение его теплопроводности и теплоемкости, несмачиваемость чугуном, повышенная стойкость к работе в условиях теплосмен позволят снизить брак, уменьшить количество расходуемых покрытий, повысить коэффициент использования металла и производительность труда в целом. Перспективным в этом плане является использование титана и сплавов на его основе.

В литейном цехе ПО “Киевтрактородеталь” существенно снизили брак, используя торцовые крышки цилиндрических кокилей из сплава ОТ4-1.

Его теплофизические свойства (табл. 5.3) позволяют устранять отбел на торцах отливаемых заготовок гильз цилиндров двигателей.

Сплав ОТ4-1 обладает высокой термической стойкостью и не охрупчивается при высоких температурах [63]. Однако здесь следует учитывать, что стоимость ковального материала ОТ4-1 достаточно высокая, а масса крышки достигает 5...7 кг.

Таблица 5.2

### Теплофизические свойства сплавов при температуре 600 °С

Сплав	Теплопроводность, Вт / (м · °С)	Коэффициент термического расширения, $1/10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$
Чугун СЧ20	59,3	16,1
ОТ4-1	16,3	9,1

Весь комплекс положительных теплофизических характеристик сохраняют изделия, полученные из порошков титана методом высокоскоростной кристаллизации металлов – порошковой металлургии. Данная технология позволяет прессовать изделия из низкосортных дешевых порошков в композиции с различными металлическими и неметаллическими соединениями, с минимальными припусками на механическую обработку. В качестве исходного материала целесообразно использовать измельченную титановую губку, являющуюся исходным сырьем для получения титановых сплавов. Магнетермический метод изготовления губчатого титана из титаносодержащих руд широко распространен в цветной металлургии.

5.1.2. Разработка конструкции и технологии изготовления кокилей из титановой губки для отливки гильз цилиндров двигателей. Примером конструктивного метода повышения стойкости чугунных кокилей, работающих в условиях повышенных температур и частых теплосмен, являются сменные вставки, которыми покрывают всю рабочую поверхность кокиля или наиболее разрушаемые ее части. Такие вставки сильно снижают термические и фазовые напряжения в материале кокиля, что уменьшает его коробление и повышает стойкость. Применение таких вставок существенно снижает стоимость и трудоемкость ремонта кокиля.

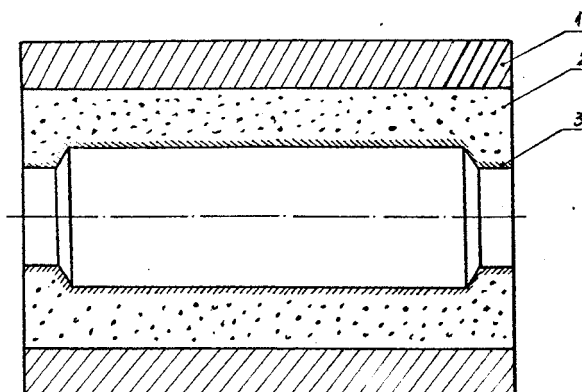
Разрушение кокиля происходит по рабочей поверхности неравномерно. Быстрее и раньше разрушаются части, контактирующие с расплавом. Поэтому их целесообразно облицовывать вставками из материала с более высокой термостойкостью и более низкой теплопроводностью.



После выхода из строя вставки ее заменяют новой. При такой конструкции кокиля срок его эксплуатации во много раз превышает продолжительность использования вставок.

С целью повышения качества наружной поверхности отливки, исключения поверхностного отбела заготовок, увеличения стойкости формы предлагается изготавливать многослойный кокиль. Эскиз данного кокиля представлен на рис. 5.9.

Он содержит корпус 1, слой теплоизолирующего материала 2 из губчатого титана марки ТГ-ТВ и постоянный слой 3 из карбида титана, контактирующего с жидким металлом. Слой карбида титана получают путем карбидизации поверхности спрессованного губчатого титана. Толщина этой прослойки должна быть не менее 0,2 мм, в противном случае происходит пригар отливаемой детали к поверхности кокиля, а при увеличении толщины более 2 мм возможна потеря связи между карбидом титана и спрессованным титаном. Сплавы на основе титана имеют в 4-6 раз меньшую теплопроводность по сравнению с чугунами. Спрессованная титановая губка еще менее теплопроводна.



*Рис. 5.1. Эскиз комбинированного кокиля с титановой облицовкой:*

*1 – корпус;*

*2 – слой теплоизолирующего материала (губчатый титан);*

*3 – постоянный слой (карбид).*

Установлено, что эффект увеличения теплоизоляции проявляется с 2 % пористости и растет до 50 %. При дальнейшем повышении пористости возникает опасность разрушения кокиля. Плотность упаковки титановых гранул позволяет изменять теплопроводные свойства основного материала кокиля, а это уменьшает скорость кристаллизации отливки. Слой карбида титана, имеющий высокую температуру плавления (3150 °С), резко повышает тепловое сопротивление титановой облицовки и ограничивает физико-химические взаимодействия формы с жидким чугуном, что обеспечивает высокое качество поверхности отливаемых изделий и более высокую стойкость формы.

Изготавливать теплоизоляционный слой прессованного губчатого титана предлагается способом порошковой металлургии. Это позволяет регулировать пористость материала, что изменяет теплопроводность последнего. Порошковая металлургия позволяет изготавливать кокили, требующие минимальной механической обработки.

Получение изделий, которые геометрически максимально приближены к требуемым, дает возможность совместить операции спекания титановой формы с процессом карбидизации титана на поверхности кокиля. При этом возможно проведение процессов спекания в средах разных газов, что позволяет получать на поверхности титана слой различных химических соединений, имеющий отличающиеся характеристики теплостойкости и хемостойкости. Использование технологий порошковой металлургии для прессования измельченной титановой губки самой крупной дисперсности и самой низкой стоимости позволяет снизить себестоимость кокилей.

Порошковая металлургия дает возможность получать сплавы на основе титана, которые не удастся выплавить традиционными методами.

Использование в этих сплавах сравнительно дешевых элементов и их химических соединений (оксидов, карбидов) открывает новые возможности для исследований.

Основными критериями эффективного использования титановых кокилей являются их стойкость к тепловым воздействиям и возможность устранения поверхностного отбела чугунных заготовок.

Цель проводимой работы состоит в замене чугунных форм на прессованные титановые для отливки гильз цилиндров в разъемных металлических кокилях. Изготовление массивных изложниц из титановой губки – сложная технологическая задача. Поэтому предложено использовать лишь вставные оболочки, непосредственно контактирующие с жидким металлом. Однако в этом случае необходимо более тщательно рассчитывать возможные изменения геометрических размеров вставки вследствие различия коэффициентов теплового расширения материалов.

Однако, учитывая разницу рабочих температур титановой вставки и чугунного корпуса кокиля, решено осуществлять посадку сопрягаемых деталей с натягом. Это обеспечивает надежную работу комбинированного кокиля, исключает проворачивание вставки и делает невозможным заливку металла во внутренние полости.

Из исходных заготовок, имеющих размеры: длина – 500 мм, наружный диаметр – 120 мм, внутренний диаметр – 80 мм, изготовлены вставки кокилей для гильз двигателей МТ и К 125. Средняя толщина стенок вставок соответственно 10 мм и 15 мм.

Внутренняя поверхность вставок экспериментальных кокилей была подвержена изотермической выдержке на воздухе при температуре 600...700 °С в течение 2 часов. В результате этого зоны, непосредственно контактирующие с расплавом, насыщались кислородом, азотом, водородом, с образованием устойчивых соединений. Химический анализ показал, что на

поверхности преобладает слой диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) толщиной 0,5...2 мм. Данная технология более проста в сравнении с нанесением карбида титана ( $\text{TiC}$ ), более приемлема в условиях серийного производства.

Для установки "Ротолит", на которой производится отливка гильз цилиндров дизелей в разъемные формы, был разработан комбинированный кокиль (рис. 5.10).

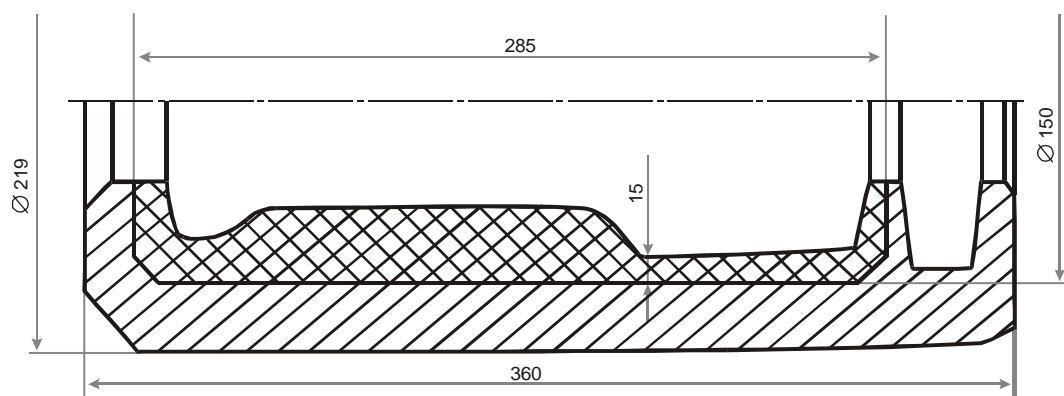


Рис. 5.2. Эскиз комбинированного кокиля для установки "Ротолит"

В данном случае титановая вставка помещалась в корпус чугунной полуформы. Разработанная конструкция требует более жесткой фиксации вставки и тщательной обработки посадочных поверхностей. В этом случае особое внимание уделялось сохранению геометрических размеров кокиля в результате действия теплосмен.

Анализ отлитых заготовок подтвердил жизнеспособность данной конструкции кокиля и перспективность его использования при отливке гильз цилиндров в разъемные металлические формы. На кокиль из титановой губки получено авторское свидетельство на изобретение (а.с. СССР № 1465171) [63].

5.1.3. Технология изготовления кокилей из пресованной титановой губки. Выбор титановой губки в качестве исходного материала вставок объясняется ее доступностью, сравнительной дешевизной, пониженной теплопроводностью и высокой жаростойкостью.

В зависимости от химического состава и механических свойств отобрано семь марок губчатого титана: ТГ-90, ТГ-100, ТГ-110, ТГ-120, ТГ-130, ТГ-160 и ТГ-ТВ [91]. Химсостав указанных марок приведен в табл. 5.4.

Таблица 5.3

Химический состав губчатого титана

Марка губчатого титана	Химический состав							
	Титан	Примеси, не более % мас.						
		Железо	Кремний	Никель	Углерод	Хлор	Азот	Кислород
ТГ-90	Основа	0,06	0,01	0,05	0,02	0,08	0,02	0,04
ТГ-100	Основа	0,07	0,02	0,05	0,03	0,08	0,02	0,04
ТГ-110	Основа	0,09	0,03	0,05	0,03	0,08	0,02	0,05
ТГ-120	Основа	0,11	0,03	0,05	0,04	0,08	0,03	0,06
ТГ-130	Основа	0,13	0,04	0,05	0,04	0,10	0,03	0,08
ТГ-150	Основа	0,20	0,04	0,05	0,05	0,12	0,04	0,10
ТГ-ТВ	Основа	2,00	—	—	0,15	0,30	0,30	—

Губчатый титан поставляется в виде кусков неправильной формы размерами от 2 до 70 мм. Порошок рассеивают на фракции: 70; 12; 5; 2 мм. Титан марки ТГ-ТВ имеет величину кусков не более 10 мм.

Процесс получения цельных заготовок титановых вставок основан на свариваемости титана при трении и высокой температуре. Из всего многообразия технологий порошковой металлургии наиболее приемлемыми являются методы прессования в газостате, гидростате или взрывное изостатическое прессование с последующим спеканием заготовок. Эти

способы позволяют получать цилиндрические вставки диаметром до 400 мм и высотой до 2000 мм.

Обработка в газостате называется горячим изостатическим прессованием (ГИП). Давление в рабочей камере контейнера создается за счет подачи предварительно сжатого до 30...50 МПа аргона. При наполнении камеры аргон вытесняет воздух, находящийся в рабочем пространстве в начале цикла прессования. Затем включают молибденовые нагреватели. При нагреве до 1200 °С сжатого аргона, находящегося в замкнутом пространстве камеры, давление его повышается до требуемой величины – 200 МПа. В настоящее время НПО ПМ совместно с ВНИИМЕТМАШем разработали промышленные газостаты с различными диаметрами внутреннего пространства. ГИП гранул производится в специальной форме – капсуле, изготавливаемой чаще всего из обычной листовой стали. Гранулы засыпают в капсулу доверху. Плотность заполнения составляет 70 %. Затем капсула вакуумируется и герметизируется. После завершения ГИП объем гранул в капсуле уменьшается примерно на 30 %, устраняются пустоты, уменьшается объем капсулы. Заключительные операции: термическая обработка, но уже не гранул, а монолитных изделий; удаление ненужной капсулы – резанием или травлением; обточки припусков до окончательного размера изделия; тщательный контроль качества.

Для получения крупногабаритных заготовок применяли гидростат конструкции ЦНИИЧМ. Установка гидростатического прессования рассчитана на максимальное давление 220 МПа. В качестве рабочих жидкостей при гидростатическом прессовании используют воду и водные эмульсии масла и глицерина. Рабочее давление прессования гидридно-кальциевых порошков титана составляет 70...100 МПа. Полученная прессовка имеет плотность 50...60 % при прочности на сжатие 1 МПа (10 кг/см<sup>2</sup>), что позволяет осуществлять ее транспортировку и при необходимости термическую обработку. Плотность заготовки после спекания составляет 97...99 %, поры распределены в ней равномерно, имеют размер не более 5 мкм. Для микроструктуры спеченного изделия характерна крупноигольчатая

$\beta$ -фаза. Технология отработана при прессовании легированных порошков титана.

Особенно приемлема для данных деталей технология порошковой формовки, при которой уплотнение производится ударными волнами в интервале времени, не превышающем 1 с. Динамическое (импульсное) формование все более широко внедряется в практику порошковой металлургии. В качестве источника энергии используют: взрыв заряда взрывчатого вещества, ударную волну высокой интенсивности за счет электрического разряда в жидкости, импульсное магнитное поле, сжатый газ, вибрацию. Происходящее при уплотнении порошка выделение тепла приводит к нагреву контактных межчастичных участков и облегчает процесс их деформирования. В результате плотность, и в особенности прочность достигают больших значений, чем при обычных методах формования статическими нагрузками. В промышленности используются гидродинамические машины рамного типа с давлением прессования 500...1500 МПа и размерами рабочей камеры до 350 x 1000 мм. На таких машинах успешно прессуют крупногабаритные изделия с размером 120 x 400 мм из порошков титана. При взрывном изостатическом прессовании плотность брикета из титанового порошка достигает 97 %. Метод позволяет получать элементы с высоким отношением высоты к диаметру при сохранении равномерности распределения плотности изделия (при давлении прессования 250 МПа). Получены элементы диаметром 120/100 мм и длиной 400 мм.

Возможны другие конструкции для взрывного прессования. Например, порошок титана помещают в тонкостенный контейнер, обмотанный детонирующим шнуром. Контейнер затем вставляют в сосуд с водой. После взрыва плотность полученных брикетов достигает 90 % и выше (патент Англии № 833673). Существует также метод изготовления деталей из порошка титана двойным изостатическим прессованием и спеканием (патент США № 3418112).

Следовательно, технологические трудности на пути изготовления титановых прессованных постоянных форм преодолимы. В частности, 4 опытных кокиля были изготовлены способом горячего изостатического прессования, а 2 заготовки получены импульсной формовкой. Механическая прочность всех форм соответствует техническим требованиям. Работы выполнены совместно с В.И. Андреевым.

5.1.4. Исследование свойств гильз цилиндров дизеля и стойкости титановых кокилей. Исследование свойств заготовок проверялось на вырезанных темплетах из гильз двигателей К 125, отлитых в серийно используемый чугунный кокиль с теплоизолирующим покрытием и экспериментальный – с титановой вставкой.

Кокили были установлены на один литейный конвейер. Заливка металла осуществлялась из одного ковша. Температура заливки металла во время испытаний сохранялась постоянной и составляла 1330...1340 °С. Период времени до выбивки заготовки из кокиля поддерживался постоянным – 7,5 мин. Параметры отливаемой чугунной заготовки: длина 320 мм, наружный диаметр 88 мм, толщина стенки 15 мм.

Химический состав чугуна следующий (в % мас.): углерод – 3,4; кремний – 2,5; марганец – 0,72; хром – 0,49; медь – 0,35; никель – 0,2; сера – до 0,12; фосфор – до 0,12.

Анализ твердости образцов по наружной и внутренней поверхности проводился на твердомере Бринелля. Образцы гильз вырезались из средней части заготовок. Результаты замеров твердости представлены в табл. 5.5.

Металлографические исследования чугуна проводились в соответствии с ГОСТ 3443-87. Они показали, что гильзы, отлитые в титановый кокиль, не имеют в своей структуре включений цементита, несколько повышено содержание феррита, увеличена длина графитовых включений.



### Твердости образцов гильз К 125

Материал кокиля	Твердость, НВ	
	Наружная поверхность	Внутренняя поверхность
Серый чугун	255	229
Титановая вставка	207	197

Результаты микроструктурных исследований представлены ниже:

- чугунный кокиль – ПГф2 – ПГр8 – ПГд150 – ПТ10 – ПТ1 – П92 – по кромке Ц4 – глубже Ц2 и до "следов" – ФЭ3 – ФЭр1 – ФЭп2000;
- титановый кокиль – ПГф1-2 – ПГр2-3-7 – ПГд180-350 – ПТ10 – ПТ1 – П (по кромке П96) – ФЭ3 – ФЭр1 – ФЭп2000.

В период испытаний титановая вставка показала достаточную стойкость. Признаков разгара или изменения геометрических размеров кокиля обнаружено не было. Извлечение заготовок из кокиля осуществлялось нормально. Механических повреждений не наблюдалось. При первых заливках металла в титановый кокиль слой теплоизолирующего покрытия составлял, как обычно, 0,75 мм. При последующих заливках его толщина была уменьшена до 0,35 мм. В этом режиме работы стойкость кокиля также соответствовала расчетной.

Низкая твердость гильз по наружной поверхности дает возможность применять технологию управления структурообразованием с целью повышения качества металла на внутренней поверхности без опасения повышения твердости на наружной поверхности.