



It is shown that using of cast iron with vermicular graphite in national economy proves its prospects as a construction material dues to technological effectiveness and economy.

С. П. КОРОЛЕВ, ОДО «Эвтектика», Э. В. ПАНФИЛОВ, ОАО «КАМАЗ»

УДК 621.74:669.13

ЧУГУН С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ – КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Перспективность чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ) в настоящее время не вызывает сомнений. Современное автомобилестроение, машиностроение, металлургия не обходятся без отливок из этого конструкционного материала.

Высокопрочный чугун с вермикулярным графитом является перспективным конструкционным материалом для машиностроительных отливок. Терминоэлемент «vermicular» в английском языке означает «червеобразный», что отражает только характерные очертания случайных разрывов микрочастиц вермикулярного графита в плоскости шлифа, напоминающих силуэт червяка, но не дает представления о его реальной пространственной форме. Термин «вермикулярный графит» используют в Австрии, Германии, Франции, Италии, Швеции, Голландии, Швейцарии, Норвегии, Румынии, США и других странах. В разное время эту форму графита называли по-разному: тип Ш, Р, псевдочешуйчатый, мелкопластинчатый, компактный и т.д. Но после 49-го Международного конгресса литейщиков, состоявшегося в апреле 1982 г. в Чикаго, утверждается употребление термина «вермикулярный графит». В нашей стране введен в действие ГОСТ 28394-89 «Чугун с вермикулярным графитом для отливок», включающий четыре марки чугуна: ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45, определяемые минимальным значением временного сопротивления разрыву при растяжении и условным пределом текучести.

Предполагаемое широкое внедрение чугуна с вермикулярным графитом в машиностроении обусловлено рядом экономических, технологических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с традиционно применяемыми литыми материалами. По экономичности литье из ЧВГ близко к чугуну с шаровидным графитом (ЧШГ), несколько уступает лишь чугуну с пластинчатой

формой графита (ЧПГ) и значительно превосходит все другие виды сплавов на основе железа.

Высокие литейные свойства чугуна с вермикулярным графитом обеспечивают получение тонкостенных деталей сложной конфигурации и определяют возможность производства отливок без усадочных раковин, неметаллических включений, трещин и других литейных дефектов и с определенной размерной точностью. ЧВГ обладает хорошей жидкотекучестью, которая по своим значениям практически не отличается от жидкотекучести чугунов с пластинчатым и шаровидным графитом. Его усадка незначительно превышает усадку чугуна с пластинчатой формой графита, что в большинстве случаев позволяет избежать дорогостоящих изменений оснастки при замене ЧПГ на ЧВГ. Так, в зависимости от степени эвтектичности объемная усадка ЧВГ составляет 2–4%. Серый чугун эвтектического состава ($C_3=1,0$), отлитый в песчаную форму, имеет объемную усадку: ЧШГ – 7,0%, ЧВГ – 5,8, ЧПГ – 4,1%. Максимальное расширение в процессе эвтектической кристаллизации ЧВГ и ЧШГ по сравнению с ЧПГ больше соответственно в 1,8 и 4,4 раза. На практике могут использоваться литниково-питающие системы, применяемые в производстве отливок из серого чугуна повышенной прочности.

У чугуна с вермикулярным графитом подобно ЧПГ и ЧШГ протекание линейной усадки складывается из следующих этапов: предусадочного расширения, доперлитной и послеперлитной усадки и расширения при перлитном превращении. По абсолютной величине значения линейной усадки ЧВГ на отдельных этапах несколько отличаются от таковых для ЧПГ и ЧШГ. Абсолютная величина предусадочного расширения у него несколько больше, чем у серого чугуна, но почти в 2 раза меньше, чем у ЧШГ. Для чугунов с различной

формой графита установлено, что с уменьшением степени их эвтектичности снижается предсудачное расширение и увеличивается линейная усадка.

Учитывая литейные свойства чугуна с вермикулярным графитом, можно предположить широкое использование его взамен чугунов с пластинчатым и шаровидным графитом при получении сложных фасонных отливок, в которых трудно предотвратить образование усадочных дефектов там, где необходима высокая плотность кристаллизующегося металла.

По уровню механических свойств чугун с вермикулярным графитом близок к чугуну с шаровидным графитом. Механические свойства ЧВГ слабо зависят от технологии его получения и определяются в основном микроструктурой сплава, прежде всего соотношением количества

шаровидного и вермикулярного графита. Изменение углеродного эквивалента в пределах 3,8–4,6%, а также толщины стенки отливки не оказывают заметного воздействия на уровень механических свойств ЧВГ, как это характерно для чугунов с пластинчатым графитом. Основными факторами повышения механических свойств ЧВГ по сравнению с ЧПГ являются большая толщина и закругленность графитных пластин, что уменьшает концентрацию внутренних напряжений по границам «графит–матрица». По основным механическим характеристикам ЧВГ уступает ЧШГ, но компенсирует это лучшими литейными свойствами, меньшей склонностью к отбелу и образованию литейных дефектов в отливках.

Сравнительные характеристики чугунов с различной формой графита приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные механические свойства чугунов с различной формой графита

Показатель	ЧПГ	ЧВГ	ЧШГ
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	100–400	300–500	350–900
Предел текучести σ_t , МПа	–	250–400	250–600
Относительное удлинение δ , %	1,5	1,5–8,0	3–25
Ударная вязкость КС, Дж/см ²	5	30	10–200
Твердость НВ	140–300	140–240	120–350

Графитные включения вермикулярной формы являются более жесткими концентратами напряжений, чем шаровидный графит, поэтому в литых деталях из ЧВГ в меньшей степени используются потенциальные возможности прочностных характеристик металлической матрицы.

По этой причине отливки из чугуна с вермикулярным графитом чаще всего применяются с литой структурой и реже подвергаются термообработке, чем ЧШГ. Влияние микроструктуры металлической основы сплава на механические свойства чугуна с вермикулярной формой графита приведено в табл. 2.

Таблица 2. Механические свойства ЧВГ с различной металлической матрицей

Структура матрицы	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость НВ
Ферритная (литое состояние)	360–410	5,0–7,0	150–160
Ферритная (отжиг)	360–410	3,0–4,0	150–170
Перлитно-ферритная (литое состояние)	450–500	2,0–3,0	170–200
Перлитная (нормализация)	530–580	1,5	300
Бейнитная (изотермическая закалка)	740–790	2,0	400

Размер самих включений графита вермикулярной формы изменяется в узких пределах и существенно не влияет на свойства ЧВГ. Увеличение же относительного количества шаровидного

графита в структуре ЧВГ приводит к существенному повышению прочностных характеристик.

Физические свойства чугунов с различной формой графита приведены в табл. 3.

Таблица 3. Физические свойства чугунов с различной формой графитных включений

Свойства материала	Тип чугуна		
	ЧПГ	ЧВГ	ЧШГ
Теплопроводность λ , Вт/мК	49,5–58,5	37,7–50,2	21,1–37,6
Плотность ρ , кг/м ³	7000–7500	7000–7200	7100–7300
Температуропроводность $\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	16,8	14,7	12,2
Электросопротивление γ , мОм/м	0,45–1,2	0,7–0,8	0,5–0,7
Коэффициент термического расширения, 10^6 , м	10–12	12–14	9–12

Из таблицы следует, что по ряду свойств — теплопроводности, температуропроводности, электросопротивлению ЧВГ находится ближе к чугуна с пластинчатым графитом, чем к ЧПГ. Циклическая прочность и развитие трещин взаимосвязаны. При напряжениях, близких к пределу выносливости, трещины начинают интенсивно развиваться. Основным замедляющим фактором для роста трещин служат включения графита. Однако в ЧПГ и ЧВГ в отличие от ЧШГ рост трещин останавливают только те включения графита, которые расположены перпендикулярно к их распространению. По этому показателю ферритный ЧВГ ближе к перлитному ЧШГ, чем к ЧПГ. Этим объясняются благоприятные термоусталостные свойства ЧВГ.

Износостойкость ЧВГ, имеющего до 70% феррита, в условиях сухого трения выше износостойкости обычного серого чугуна (СЧ20) с феррито-перлитной структурой примерно в 2 раза, а СЧ 25 с перлитной структурой — в 1,5 раза.

При оценке термостойкости методом термического удара отмечено, что первые трещины на образцах из ЧВГ и ЧПГ появляются после 310–320 и 240 циклов соответственно.

Герметичность ЧВГ с увеличением в структуре шаровидного графита от 15 до 45% возрастает от 34,2–35,2 до 41,2–43,7 МПа. Это весьма важно для таких деталей, как головки цилиндров дизелей, деталей гидроаппаратуры и других, работающих под давлением жидкой среды.

Приведенные выше данные о эксплуатационных характеристиках чугуна с вермикулярным графитом подтверждают целесообразность использования его для ответственных отливок. Так, в автотракторостроении зарубежных стран освоена большая номенклатура литых деталей из ЧВГ: маслопроводы для тракторов, опорные детали головки цилиндров тяжелых грузовиков, крепежные детали рам грузовиков, тормозные рычаги тракторов, шкивы сервопривода грузовика, монтажные кронштейны балластных грузов трактора, бандажные кольца шестерен грузовика, монтажные детали двигателей ножей тракторов, корпуса промежуточных зубчатых передач, тормозные кронштейны и т.д. Масса отливок колеблется в пределах 0,4–40 кг и более при толщине стенок 4–50 мм.

Отливки из ЧВГ производят такие известные фирмы, как «Крупп-Мак» (Германия), «Георг Фишер», «Эшер Висс» (Швейцария), «Форд моторс», «Гарднер Денвер», «Вопака Фаундри» (США), «Ю-Би-Индастриз» (Япония) и др.

Основная область применения отливок из чугуна с вермикулярным графитом сосредоточена в автотракторостроении. Но и в других областях машиностроения используется ЧВГ. Так, в нашей стране, как и в других государствах (Германия, Япония, США), чугун с вермикулярным графитом производится для отливок ответственных деталей судовых двигателей: головки цилиндров крупных морских двигателей внутреннего сгорания, внутри цилиндров, поршни для судовых двигателей. Масса этих отливок достигает до 1000 кг. Ранее эти наименования отливок изготавливались из легированного ЧПГ марки СЧ30.

В зарубежной практике известно эффективное использование перлитных и бейнитных ЧВГ для литых дисков тормозов двигателей железнодорожных локомотивов и вагонов высокоскоростных (выше 200 км/ч) поездов.

Есть и положительный практический опыт освоения ЧВГ в отечественном машиностроении. Совместные работы специалистов ОАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны), БНТУ (г. Минск) и Инженерно-технологический центр машиностроения «Металлург» (г. Москва) позволили освоить производство таких отливок, как «Блок цилиндров», «Картер коробки передач», «Картер межосевого дифференциала», «Картер раздаточной коробки» и др., всего 11 наименований из чугуна с вермикулярным графитом в условиях Литейного завода ОАО «КАМАЗ-Металлургия», что дало возможность получить значительный экономический эффект и обеспечить выполнение требований ЕВРО-2 автомобилей семейства «КАМАЗ».

Приведенные выше данные об использовании чугуна с вермикулярным графитом в народном хозяйстве подтверждают его перспективность как конструкционного материала благодаря технологичности и экономичности. Комплекс характеристик ЧВГ дает основание предполагать, что область его применения будет расширяться.