

Панов А.Г.

(Исследовательский центр Модификатор, г. Наб. Челны)

Состояние и перспективы производства отливок из высокопрочного чугуна с вермикулярным графитом

Тезисы доклада

В настоящее время уже достаточно широко известны преимущества вермикулярного графита (ВГ), имеющего смежную с пластинчатым графитом (ПГ) и шаровидным графитом (ШГ) форму – благодаря каркасу, аналогичному каркасу ПГ, чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) имеет высокую жёсткость, теплопроводность, обрабатываемость, а благодаря округлённым формам краёв пластин аналогично форме ШГ – высокую прочность при удовлетворительной пластичности и ударной вязкости.

Например, для деталей двигателей внутреннего сгорания, в которых ЧВГ в настоящее время применяется наиболее активно, имеются следующие преимущества этого материала:

- снижения веса деталей из ЧВГ, компактная конструкция двигателя, уменьшение общего веса транспортного средства в результате снижения веса смежных узлов и деталей;
- возможность достижения высокой удельной мощности двигателя;
- обеспечение давления в цилиндре свыше 200 атм.;
- минимальная деформация цилиндра и снижение расхода масла;
- снижение уровня выбросов картерных газов;
- длительный срок службы;
- снижение уровня шума;
- разъемные коренные подшипники по разрывной конструкции блоков цилиндров;
- небольшая высота профиля резьбы;
- снижение кольцевого растяжения;
- хорошая обрабатываемость на автоматических линиях.

Однако, если проследить историю развития ЧВГ, то необходимо отметить следующее:

- первые в мире упоминание о чугуне типа ЧВГ и оформление на него патента К. Миллисом состоялись в период 1943-1948 г.;
- первые в мире значимые практические результаты получены в 1970-е годы, первый в мире серийный блок двигателя – в 1999 г., мировой объём производства ЧВГ на сегодня в мире ещё настолько мал, что ЧВГ отдельно ещё не упоминается в общих обзорах мирового литья;
- первые отечественные значимые научные результаты получены в 1980-е годы, на сегодня серийно продукцию из ЧВГ производят в России лишь четыре предприятия, причём два из них организовали производство только несколько лет назад.

В связи с вышесказанным и в соответствии с известной схемой жизненного цикла развития продукта можно определить сегодняшнее место ЧВГ как начало выхода на рынок.

Для того, чтобы определить причины отставания отечественного производства ЧВГ от мирового, в октябре 2017 года в Набережных Челнах собрались на специализированную конференцию большинство отечественных и мировых учёных, занимающихся исследованиями в рассматриваемой области. Главной причиной отставания названы отставание в изученности и понимании процессов структурообразования ВГ, необходимых для разработки надёжной технологии управления ими и экспресс-контроля в условиях отечественного производства.

Участники конференции, кроме прочего, познакомились с теорией и практикой метода *SinterCast*, на долю которого в настоящее время приходится более половины мирового производства отливок из ЧВГ. Как выяснилось на конференции, основной причиной лидирующего положения метода *SinterCast* является стабильно высокая доля ВГ в ЧВГ, которая обеспечивается точным сфероидизирующим и графитизирующим повторным модифицированием в зависимости от результата экспресс-контроля методом термического анализа (ТА) качества предварительно модифицированного чугуна. При этом основное преимущество метода сосредоточено непосредственно на точности и воспроизводимости результатов ТА. Дело в том, что, как известно, сложность получения ВГ определяется очень узким так называемым «технологическим окном» микросостава сфероидизирующих химических элементов, попасть в которое с первого раза модифицирования крайне сложно из-за различных наследственных причин реальных условий производства.

Компанией *SinterCast AB* разработаны специальные параметры *MGM* (степень сфероидизирующего модифицирования) и *MGI* (степень графитизирующего модифицирования), которые определяют положение на двух-координатной диаграмме (так называемой «шахматке *MGM-MGI*») и с помощью которых аналитическая программа, являющаяся «know-how» компании *SinterCast AB*, и управляет последующим процессом повторного домодифицирования. Более того, по мнению специалистов компании *SinterCast AB*, не только химический микросостав («технологическое окно»), но и даже микроструктура не очень чувствительна, например, к склонности к литейной объёмной усадке. Поэтому гарантированное устранение усадки в особо сложных отливках на сегодняшний день может быть обеспечено исключительно «шахматкой *MGM-MGI*», объективным контролем и точным управлением.

Подводя итоги вышесказанного можно сделать следующие основные выводы:

1. Развитие отечественного применения ЧВГ в связи с возрастающими требованиями людей неизбежно.

2. Для дальнейшего развития ЧВГ требуется дальнейшее системное изучение процессов структурообразования ВГ и просвещение конструкторов и технологов.

3. По мировому опыту сегодня стабильность структуры и свойств ЧВГ может быть гарантировано исключительно методом управления SinterCast, для подтверждения этого положения применительно к отечественным условиям требуется первый промышленный опыт.

Panov A.G.

Status and prospects of CGI-castings production

Theses of the report

These days are already quite widely known advantages of vermicular graphite (VG), which has a shape adjacent to lamellar graphite (LG) and spheroidal graphite (SG). Due to a frame similar to that of LG, compacted graphite iron (CGI) has high heat conductivity, machinability, castability etc. Due to rounded shape of Edge plates similar to that of SG, CGI has high mechanical strength, toughness etc. For example, for parts of highly stressed internal-combustion engines there are the following advantages of this material:

- reduced wall thicknesses at current operating loads;
- increased operating loads at current design;
- reduced safety factors due to less variation in as-cast properties;
- reduced cylinder bore distortion;
- improved NVH;
- shorter thread engagement depth and therefore shorter bolts etc.

However, if we look at the history of CGI, we should note the following:

- the world 's first mention of CGI-type cast iron and the registration of the K. Millis patent took place between 1943 and 1948;
- the first world significant practical results were obtained in the 1970s, the first in the world serial block of the engine - in 1999, the world volume of production of CGI is still so small in the world today that CGI is not mentioned separately in the general reviews of world casting;
- the first domestic significant scientific results were obtained in the 1980s, only four enterprises produce serial CGI products in Russia today, and two of them organized production only a few years ago.

With reference to the above mentioned and in accordance with the known product development life cycle scheme, it is possible to define today's place of CGI as the beginning of market entry.

In order to determine the reasons for the lag of domestic CGI production from the world, in October 2017 in Naberezhnye Chelny gathered for a specialized conference most domestic and world scientists engaged in research in the field under consideration. The main reason for the lag is the lag in the study and understanding of the processes of structure formation of VG, which are necessary for the development of reliable technology of their management and express control in the conditions of domestic production.

The participants of the conference, among other things, learned about the theory and practice of the *SinterCast* method, which currently accounts for more than half of

the world production of castings from CGI. As it turned out at the conference, the main reason for the leading position of the method of *SinterCast* is the stably high proportion of VG in the CGI, which is provided by accurate repeated modifying (spheroidizing) and inoculation (graphitizing) depending on the result of the express control by the thermal analysis method (TA) of the quality of the pre-modified cast iron. At the same time, the main advantage of the method focuses directly on accuracy and reproducibility of TA results. The fact is that, as is known, the complexity of the production of VG is determined by a very narrow so-called "technological window" of spheroidizing chemical elements, into which from the first time modification it is extremely difficult due to various hereditary reasons of real production conditions. Special parameters *MGM* and *MGI* was developed by *SinterCast AB*, which determine the position of spheroidization and graphitization degrees on the two-coordinate diagram (so-called "*MGM-MGI* chess") and by means of which the analytical program, which is the "know-how" of *SinterCast AB*, controls the subsequent process of repeat modification. According to experts of *SinterCast AB*, not only the chemical "process window", but also even the microstructure is not very sensitive, for example, to the tendency to cast volume shrinkage. In their opinion, the guaranteed elimination of shrinkage particularly in complex castings today can be provided exclusively by "*MGM-MGI* chess": objective measurement and accurate control.

In summing up the above, the following main conclusions can be drawn:

1. Development of domestic application of CGI due to increasing demands of people is inevitable.
2. Further development of CGI requires further systematic study of the processes of VG structure formation and education of designers and technologists.
3. According to world experience, the stability of the structure and properties of CGI at present time can be guaranteed exclusively by the method of *SinterCast* control, the first industrial experience is required to confirm this situation in relation to domestic conditions.