

Д. А. Болдырев (канд. техн. наук, Исследовательский центр ОАО «АВТОВАЗ»),  
С. В. Давыдов (д-р техн. наук, Брянский государственный технический университет)

## Изготовление деталей шасси автомобиля из ВЧШГ ферритного класса

В последнее время пластичные сплавы, в том числе и литейные, находят все большее применение в автомобилестроении для высоконагруженных деталей шасси. Некоторые материалы, используемые для изготовления детали «Кулак поворотный», приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что для изготовления детали «Кулак поворотный» применяют сплавы на основе алюминия, стали, в том числе низколегированные, а также такие литейные материалы, как ковкий и высокопрочный чугуны. При изготовлении деталей из высокопрочного чугуна в отдельных случаях для повышения пластических характеристик применяется отжиг.

На ОАО «АВТОВАЗ» такие детали, как «Кулак поворотный» и «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» серийных моделей автомобилей изготавливают из стали АЦ40ХГНМ ковкой (горячей штамповкой).

Механические свойства улучшенной стали АЦ40ХГНМ:

- предел прочности  $\sigma_B \geq 980$  МПа;
- предел текучести  $\sigma_T \geq 735$  МПа;
- относительное удлинение  $\delta \geq 12\%$ ;
- ударная вязкость КСЧ  $\geq 88$  Дж/см<sup>2</sup>;
- твердость по Бринеллю (определяется на поковке) 255–302 НВ.

В настоящее время в автомобилестроении наблюдается тенденция к использованию для тяжело нагруженных деталей, работающих в условиях знакопере-

менного нагружения, а также в качестве материала для «Поворотного кулака» и других деталей шасси, пластичного чугуна ферритного класса. Современные тенденции [1–4] по использованию литых деталей автомобиля из высокопрочного чугуна на ферритной основе обусловлены следующими преимуществами:

- ниже стоимость исходного материала;
- ниже стоимость модели отливки по сравнению со стоимостью штампа;
- снижены расходы на изготовление оснастки;
- улучшена обрабатываемость за счет получения более короткой и ломкой стружки.

При этом следует учесть, что в разрабатываемых новых системах подвески детали типа «Кулак поворотный», «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» и др., имеют сложную геометрию, получить которую штамповкой бывает затруднительно, а иногда и не возможно.

Возросшая конструктивная сложность деталей видна на примере автомобиля ВАЗ–2116 (рис. 1, 2).

Применение задних дисковых тормозов вместо барабанных привело к изменению конструкции ступицы и разработке новой сложной детали «Корпус подшипника ступицы заднего колеса».

Учитывая сказанное выше, решали следующие задачи:

1. Провести обоснование и выбор марки чугуна для изготовления опытных деталей.

Таблица 1. Материалы, используемые для изготовления детали шасси «Кулак поворотный»

Автомобиль	Материал
ГАЗ–69	Ковкий чугун
М–20 «Победа», модификация М–72	Ковкий чугун
Peugeot 407	Сталь
ГАЗ–53А	Сталь 35Х
Полноприводный внедорожник на базе ВАЗ–2110 ВАЗ–21116.04	Алюминиевый сплав
Audi A8	Алюминиевый сплав
FIAT–Panda	Высокопрочный чугун марки Gh 65–48–05
OPEL–Astra	Аналог высокопрочного чугуна марки ВЧ45*
Renault Megane Classic	Высокопрочный чугун на ферритной основе
Daewoo Nubira J–100	Высокопрочный ферритно–перлитный чугун
FIAT Brava	Высокопрочный ферритно–перлитный чугун

\*Марка чугуна получена с помощью ферритизирующего отжига.

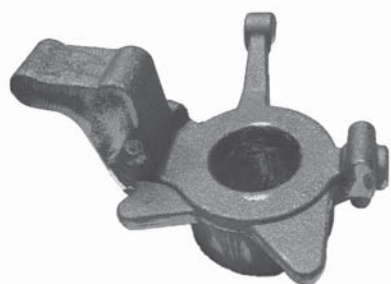


Рис. 1. Отливка «Кулак поворотный» мод. ВАЗ-2116



Рис. 2. Отливка «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» мод. ВАЗ-2116

2. Разработать режимы выплавки чугуна требуемой марки в производственных условиях.
3. Определить способ модифицирования расплава и условия заливки.
4. Изготовить опытные партии деталей 2116-3001014/015-00 «Кулак поворотный» и 2116-3104084/085-00 «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» для проведения стендовых испытаний и комплектации прототипов опытных автомобилей.
5. Разработать рекомендации по получению опытных отливок деталей 2116-3001014/015-00 «Кулак поворотный» и 2116-3104084/085-00 «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» в условиях действующего производства.

Для получения вышеуказанных деталей шасси литьем вместоковки был внедрен высокопрочный чугун, что позволяет повысить ресурс инструмента при механической обработке отливок деталей за счет наличия в структуре чугуна графитных включений, служащих твердой смазкой и способствующих отделению ломкой стружки, а также обеспечивает снижение затрат на изготовление деталей рассмотренной номенклатуры.

Акцент, сделанный именно на высокопрочном чугуне с ферритной матрицей, обусловлен тем, что в эксплуатации вышеуказанные детали подвергаются достаточно высоким нагрузкам, создающим динамически изменяющееся объемное поле напряжений. Для модели 2116 поперечный изгибающий момент составляет 270–285 кг м; коэффициент динамической нагрузки 2,25–3,0; коэффициент перехода на боковую нагрузку 1,2–1,35;

Дополнительно следует отметить, что данные де-

тали имеют прямое влияние на безопасность автомобиля. При их поломке неминуема авария с тяжелыми последствиями, поэтому при таких условиях работы материал должен обладать наилучшим сочетанием предела текучести, относительного удлинения и ударной вязкости [5–7].

На этапе изготовления опытных образцов деталей и оценки их работоспособности в качестве материала был выбран высокопрочный чугун марки ВЧ40.

Критериями оценки материала опытных отливок служили:

- металлическая основа – феррит;
- относительное удлинение – не менее 15%.

Для стабильного ведения процесса изготовления отливок были составлены рекомендации к используемым шихтовым материалам (табл. 2). Необходимый химический состав чугуна в печи представлен в табл. 3.

Шихтовые материалы и химический состав расплава чугуна в печи выбраны исходя из следующих соображений. Для получения чисто ферритной металлической основы чугуна должны исключаться материалы, имеющие в своем составе сильные карбидообразователи (Nb, W, V, B и др.), перлитобразующие элементы (Sn, Ni и Cu), а содержание в них Si, Mn и, особенно, Cr необходимо строго оговаривать (табл. 3).

Углеродный эквивалент чугуна в печи при содержаниях углерода и кремния, указанных в табл. 3, должен находиться в диапазоне 4,15–4,45. При этом содержание кремния в ковшовой пробе должно быть не более 2,8% во избежание потери пластических свойств легированного кремнием феррита [8]. Углеродный эквивалент чугуна в ковше при введении вышеуказанных количеств модифицирующих материалов должен находиться в диапазоне 4,45–4,75.

Заливку форм осуществляли из заливочных ковшей, в карман которого для модифицирования с помощью воронки засыпали модификатор ФСМг6 фракции 4–32 мм в количестве 1,2% от массы расплава чугуна и покрывали слоем одного из графитизирующих модификаторов ФС65Ба1, ФС75Ба1 или ФС75Ба2,5 фракции 1–5 мм в количестве 0,5% от массы расплава чугуна. В литниковую чашу каждой

Таблица 2. Наименование и расход шихтовых материалов

Наименование материала	Шихта, в % от металлозавалки
Чугун передельный ПЛ1, ПЛ2 (ГОСТ 805–95)	87,5
Стальные отходы КСО-А (СТП 37.101.9586–2000)	10
Ферросилиций кусковой ФС45 (ГОСТ 1415–93)	2,5

Таблица 3. Химический состав чугуна марки ВЧ40 в печи (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr
3,6–3,8	1,7–1,9	≤0,3	≤0,1	≤0,015	≤0,07

Таблица 4. Химический состав чугуна ВЧ40 в печи при выплавке опытных деталей, %

Деталь	C	Si	Mn	Cr
2116-3104084	3,88	1,82	0,16	0,036
2116-3001014	3,83	1,93	0,13	0,030
2116-3001014	3,90	1,77	0,16	0,050
2116-3104084	3,83	1,80	0,13	0,034
2116-3001014	3,90	1,80	0,15	0,050
2116-3104084	3,80	1,78	0,13	0,042
2116-3001014	3,93	1,70	0,11	0,030
2116-3104084	3,76	1,85	0,12	0,030
2116-3001014	3,67	1,84	0,13	0,030
2116-3001014	3,73	1,87	0,12	0,030

Таблица 5. Химический состав чугуна ВЧ40 в ковше при выплавке опытных деталей, %

Деталь	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg
2116-3104084	3,93	2,74	0,14	0,053	0,012	0,038	0,020	0,020	0,050
2116-3001014	3,56	2,73	0,15	0,050	0,012	0,040	0,014	0,023	0,055
2116-3001014	3,90	2,65	0,20	0,053	0,014	0,055	0,020	0,020	0,040
2116-3001014	3,48	2,45	0,13	0,058	0,011	0,030	0,010	0,020	0,051
2116-3104084	3,66	2,62	0,13	0,060	0,010	0,030	0,010	0,020	0,056
2116-3001014	3,73	2,45	0,13	0,057	0,011	0,030	0,015	0,020	0,038
2116-3001014	3,73	2,90	0,15	0,060	0,011	0,046	0,014	0,020	0,080

формы положили кусок ферросилиция ФС75л3 массой 50 г. Температура выдачи расплава из печи в ковш: 1480–1500°C, температура расплава в ковше перед разливкой в формы: 1440–1460°C.

Разработанная и апробированная технологическая схема подготовки расплава и последующего модифицирования позволяет получить высокопрочный чугун марки ВЧ40 в условиях единичного и мелкосерийного производства, однако на всех исследованных отливках отмечается повышенная твердость в литом состоянии 187–202 НВ (по чертежу 130–185 НВ), что может быть связано с применением ХТС для изготовления литейных форм. В этом случае кристаллизация отливок происходит с более высокой скоростью по сравнению с кристаллизацией отливок в песчано-глинистых формах (ПГФ).

Таким образом, для дальнейшей обработки и стабилизации технологического процесса изготовления деталей «Кулак поворотный» и «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» необходимо смоделировать технологический процесс получения отливок в формы

из песчано-глинистой смеси, максимально приближенный к условиям серийного производства.

Химический состав чугуна в печи и ковше, микроструктура и ее параметры, а также результаты определения механических свойств материала опытных отливок деталей приведены в таблицах 4–6 и на рис. 3, 4.

Причинами повышенной твердости чугуна в некоторых отливках являются использование для опытных заливок форм из ХТС вместо ПГФ; повышенный углеродный эквивалент чугуна; пониженная температура форм, связанная с сезонными колебаниями температуры.

При заливке на линиях в действующем производстве металлоемкость используемых форм из песчано-глинистой смеси примерно в 3 раза больше форм из ХТС для опытных отливок, при этом температура формовочной песчано-глинистой смеси выше, чем ХТС, за счет использования теплой оборотной смеси. Кроме того, необходимо учитывать, что теплопроводность формы из песчано-глинистой смеси меньше, чем из ХТС, поэтому скорость охлаждения отливки в форме из песчано-глинистой смеси более низкая.

Таблица 6. Микроструктура и механические свойства чугуна в отливках

Деталь	Механические свойства			Микроструктура	
	НВ	$\sigma$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Металлическая основа	ШГ, %
2116-3104084	170-177	47	16	Ф95	90
2116-3001014	174-180	46	20	Ф	90
2116-3001014	170	46	15	Ф95	90
2116-3104084	179-182	48	24,4	Ф	90
2116-3001014	179	48	16	Ф	90
2116-3104084	179	50	15	Ф	90
2116-3001014	187-197	46	15	Ф	90
2116-3104084	182-185	48,5	16	Ф	90
2116-3001014	207	47	16,4	Ф	90
2116-3001014	207-217	49,5	12	Ф	90

Таким образом, указанные преимущества форм из песчано-глинистой смеси позволяют с большей стабильностью обеспечить необходимые механические свойства чугуна в отливках при дальнейшем освоении технологического процесса их получения в действующем производстве.

Для организации крупносерийного (массового) производства отливок из чугуна ВЧ40 (аналог GGG-40) необходимо учитывать, что данную марку чугуна можно получить только на чистой по примесям шихте, для этого необходимо не допускать смешивания возврата чугуна ВЧ40 с другими марками ВЧ или СЧ, использовать передельный чугун с низким содержанием серы (до 0,01%), применять нелегированные стальные отходы (типа КСО-А).

Кроме того, модифицирование необходимо проводить «Сэндвич»-процессом («ковш с крышкой») лигатурой типа ФСМг, а в случае применения в составе шихты легированных стальных отходов (типа КСО-Б) требуется высокотемпературный отжиг.

Разработанные технологические рекомендации позволили получить в условиях мелкосерийного производства отливки деталей «Кулак поворотный» и «Корпус подшипника ступицы заднего колеса» из ВЧ40 на чисто ферритной основе с достаточно устойчивыми механическими свойствами. Технология производства отливок данных деталей является достаточно стабильной и обеспечивает получение чисто ферритной матрицы, при степени сфероидизации графита 90%, твердости 185–217 НВ и относительного удлинения не менее 15% [9].

#### Список литературы

1. Александров Н. Н., Ковалевич Е. В., Поддубный А. Н. Производство высококачественных чугунов // Литейное произ-

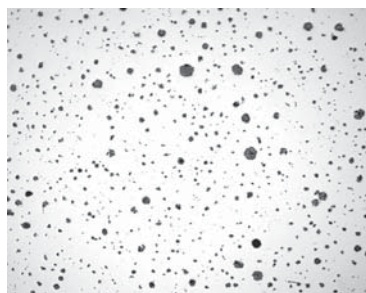


Рис. 3. Микроструктура чугуна в опытных отливках, x100

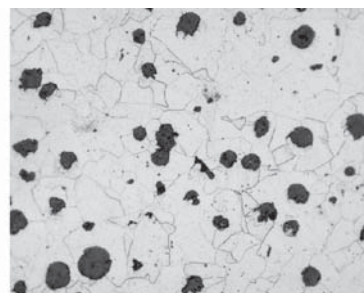


Рис. 4. Микроструктура чугуна в опытных отливках, x400

водство. – 1996. – №11. – С. 11–14.

2. Литовка В. И., Бех Н. И., Шинский О. И., Косников Г. А. Усталостная прочность и разрушение чугуна с шаровидным графитом // Литейное производство. – 1994. – №6. – С. 3–8.

3. Масленков С. Б. Чугуны // Технология металлов. – 1999. – №11. – С. 41–45.

4. Лякишев Н. П., Бех Н. И., Александров Н. Н. Чугун с шаровидным графитом – уникальный конструкционный материал для изделий ответственного назначения // Литейное производство. – 2002. – №10. – С. 6–7.

5. Изосимов В. А., Усманов Р. Г., Канафин М. Н. Влияние химсостава высокопрочного чугуна на его механические свойства // Литейное производство. – 2004. – №6. – С. 2–5.

6. Овчинников В. И., Умеренкова Н. А., Шарков В. А. Влияние структуры металлической основы на ударную вязкость ковкого и высокопрочного чугунов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1988. – №4. – С. 26–28.

7. Марукович Е. И., Чудаков С. Р. ЧШГ повышенной пластичности // Литейное производство. – 1998. – №11. – С. 34–35.

8. Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом. – Киев: Наукова думка, 1986. – 95 с.

9. Болдырев Д. А. Изготовление из высокопрочного чугуна деталей автомобиля // Заготовительные производства в машиностроении. – 2005. – №10. – С. 3–4.