

антифрикционного чугуна в экспериментальном производстве УП «ИНСТИТУТ БЕЛНИИЛИТ» и маслотно-заготовок вставок упрочнения алюминиевых поршней из чугуна типа «Нирезит» на Минском моторном заводе.

Все созданное центробежное оборудование отличается относительно низкой ценой и коротким

сроком окупаемости.

#### Выводы

В результате выполнения заданий 1.07, 1.22 и 1.23 ГНТП «Технологии» значительно расширена область применения в РБ центробежного способа производства отливок с положительным экономическим эффектом.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Л.Р. Дудецакая, А.И. Покровский*

Чугун, как конструкционный материал хорошо известен машиностроителям. Это объясняется высокими литейными и технологическими свойствами чугуна по сравнению со сталью, более низкой температурой плавления, лучшей жидкотекучестью и заполняемостью формы, хорошей обрабатываемостью резанием. Представляя собой многофазную и многокомпонентную систему, составляющие которой можно целенаправленно регулировать, чугун позволяет получать широкий спектр состояний структуры и свойств. Чугун обладает некоторыми уникальными, присущими только ему особенностями. Так наличие графитных включений обеспечивает хорошие антифрикционные свойства, способность быстро гасить вибрации и резонансные колебания, малую чувствительность к надрезам, меньший чем у стали удельный вес, повышенную теплопроводность. Все это обуславливает широкое применение чугунов для изготовления таких ответственных изделий, как блоки цилиндров, коленчатые и распределительные валы, тормозные барабаны, диски сцепления, поршневые кольца, детали трансмиссии, зубчатые колеса. Причем тенденция замены стального проката на высококачественное чугунное литье все четче прослеживается при анализе машиностроительных предприятий.

Существующие способы улучшения качества чугунных деталей включающие совершенствование плавки, легирование, модифицирование в значительной степени исчерпали себя. Дальнейшее повышение характеристик чугуна тормозится недостатками традиционных литейных технологий - невысоким и нестабильным качеством отливок, низким коэффициентом использования металла. Причем потенциальные возможности чугуна раскрыты еще далеко не в полной мере. Развитие техники требует поиска новых нестандартных способов формообразования деталей из чугуна и

воздействия на его структуру.

Последние исследования убедительно доказали, что литье не единственный способ формообразования чугуна, а в определенных температурно-силовых интервалах этот материал может быть подвергнут деформированию [1]. Использование горячей пластической деформации чугуна позволяет получить следующие результаты. Во-первых, заготовке придается форма, максимально приближенная к готовому изделию (с допусками до сотых долей миллиметра). Во-вторых, деформация позволяет изменять структуру как во всем объеме заготовки, так и в определенной ее части, причем степень деформации по сечению можно регулировать. В третьих, деформация значительно расширяет спектр получаемых структур, а значит и возможности управления механическими и эксплуатационными свойствами [2].

Примером использования деформированного чугуна для ответственных машиностроительных деталей являются работы, проводимые в Физико-техническом институте национальной академии наук Беларуси совместно с Минским автомобильным заводом и Минским заводом колесных тягачей. По результатам этих работ разработана и освоена технология производства ряда деталей трансмиссии грузового автомобиля из чугуна, подвергаемого горячей пластической деформации и последующей изотермической закалке на бейнитную структуру [3].

**Шестерни дифференциала автомобиля МАЗ из чугуна.** Изготавливали как небольшие по весу и размерам шестерни дифференциала автомобиля МАЗ-5336 - шестерню полуоси (3,3 кг, диаметр 118 мм) сателлит (1,05 кг, диаметр 89 мм), так и главную зубчатую пару самосвала МАЗ-5551 - ведущую и ведомую шестерни (10,4 кг и 13,8 кг). Существующая на заводе технология предусмат-

ривает порезку проката стали 20ХНЗА на заготовки, их нагрев до 950-1100°C, ковку, отжиг, предварительную механическую обработку, нарезку зуба, цементацию, шлифовку.

Для изготовления шестерен по литейно-деформационной технологии были предложены составы ковкого и высокопрочного чугунов с небольшими добавками никеля (0,5%) и молибдена (0,2%) [4]. Технология включала получение литых цилиндрических заготовок под деформацию, их отжиг, черновую токарную обработку, горячую пластическую деформацию выдавливанием, нарезку зуба, изотермическую закалку, шлифовку [5]. Новый технологический процесс легко совмещается с имеющимся литейным, штамповочным и термическим оборудованием, требуется только изготовление специальной штамповой оснастки. Технология опробована на Минском автомобильном заводе.

Плавку чугуна для получения заготовок под деформирование осуществляли в 3-х тонной электродуговой печи по существующей технологии. Сфероидизацию графита проводили лигатурой ФСМгТКОЗ, вторичное модифицирование ферросилицием ФС75 внутрiformенно.

Выдавливание осуществляли на серийном кривошипно-шатунном прессе ГВ8538 усилием 630 т в подогретом до 350°C штампе. Всестороннее неравномерное сжатие обеспечивали приложением противодействия усилием 15-20 МПа. Поковки имели форму, близкую к готовой детали, но без формирования зуба шестерни (рис. 1). Степень деформации в зоне будущего зубчатого венца варьировали от 20 до 75% изменением размеров заготовки и количества штамповочных переходов. Для получения в шестерне наиболее благоприятной структуры и расположения графитных включений разработали концепцию градиента степени деформации по сечению заготовки: у основания зуба шестерни 0,7-0,8, у вершины зуба 0,4-0,5 [6-7]. Заготовки нагревали в индукторе установки ТВЧ ИЗ1-100/2,4 с частотой 2400 Гц по схеме: трехкратный подогрев до 950°C, подстуживание до 900°C, затем штамповка. Выход годного составлял 97-100%. После охлаждения на воздухе поковки имели твердость 280-320 НВ. Для улучшения обрабатываемости их подвергали отпуску при 660°C в течении 2 часов, после чего твердость снижалась до 180-220 НВ. Операции механической обработки и окончательной шлифовки чугунных и стальных поволоков совпадали. Вместо цементации чугунные шестерни

подвергали изотермической закалке.

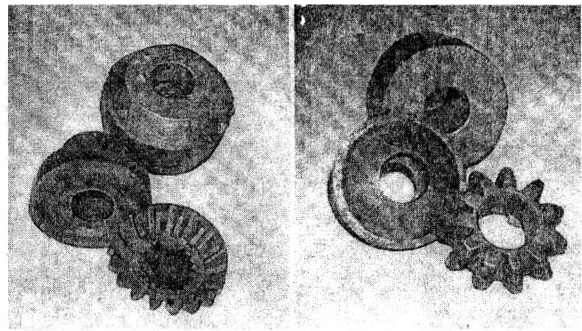


Рис. 1. Литая заготовка, поковка и готовая шестерня дифференциала МАЗ-5336 из чугуна

Изотермическая закалка шестерен включала аустенизацию в соляной ванне при 920-950°C в течении 1 часа, изотермическую закалку в селитровой ванне из  $\text{NaNcб}$  и  $\text{KNO}_3$  при 250-350°C. Изменение параметров закалки, позволяло получить широкий спектр соотношений бейнита и остаточного аустенита в структуре, а, соответственно свойств чугуна (твердость 35-55 HRC, прочность 900-1400 МПа, относительное удлинение 2-5%). Дальнейшие эксперименты зафиксировали получение бейнитной структуры в шестернях из нелегированного чугуна на глубине до 10 мм.

Производственные испытания опытной партии шестерен из деформированного чугуна показали следующее. Исследование пятна контакта на поверхности зубьев после приработки на контрольно-обкатном станке Глиссон Т6А зафиксировали полную идентичность зон касания чугунных и стальных шестерен. Уровень шума зубчатых колес из чугуна ниже, чем у стальных: для литого на 1 дБА, для деформированного высокопрочного чугуна на 1-2 дБА, для деформированного ковкого на 3-4 дБА. Полученные результаты являются существенными если учесть, что правилами ЕЭК ООН №51, введенными в действие с 2000 г. (Евро 2), общий уровень шума для грузовых автомобилей ограничен величиной 80 дБА. Стендовые испытания в исследовательском центре МАЗа на статическую прочность шестерен дифференциала (рис. 2) установили следующие значения крутящего момента при разрушении: литых чугунных шестерен 9 кНм, деформированных чугунных - 19,1, стальных- 18,2 (рис. 3). При испытаниях на прочность шестерен главной передачи чугунные шестерни разрушались при крутящем моменте 19 кНм, стальные - при 18 кНм. Таким образом по статической прочности шестерни из деформированного чугуна находятся на одном уровне со стальными, но для окончатель-

ного решения о внедрении технологии необходимо проведение динамических дорожных испытаний.

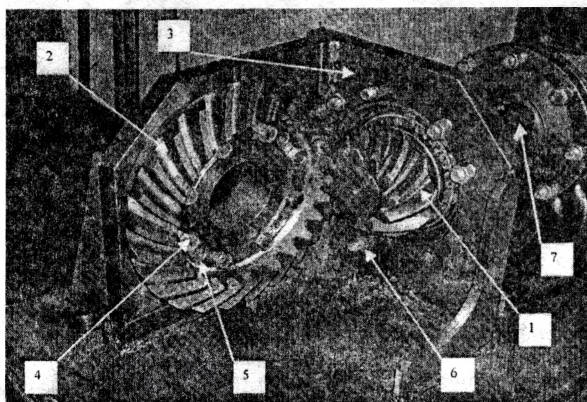


Рис. 2. Испытания чугунных шестерен главной пары автомобиля МАЗ-5551: 1 – ведущая шестерня; 2 – ведомая шестерня; 3 – стойка; 4 – болты крепления ведомой шестерни; 5 – штифты; 6 – болты крепления стакана подшипников; 7 – стакан подшипников



Рис. 3. Зависимость крутящего момента от угла закручивания при стендовых испытаниях шестерен

**Уплотнительные кольца трансмиссии тягача МЗКТ-547.** На Минском заводе колесных тягачей на детали "уплотнительное кольцо трансмиссии" условным диаметром 98 мм заменили специальный серый чугун (выход годного 30-40%, многочисленные поломки при сборке, утечка масла, повышенный износ) деформированными высокопрочным и ковким чугунами (рис. 4). Чугун для получения заготовок под деформацию (маслот) отливали в индукционной печи ИСТ-0,1 по известной технологии. Перед выдавливанием заготовки нагревали в индукторе ИЗЧ 100/8 со скоро-

стью 20%ек до температуры 900-950°C. Деформацию методом выдавливания проводили на кривошипном прессе КБ 9534 усилием 250 т в подогретом до 350°C штампе с противодавлением 20-25 МПа, выход годного составлял 95-100%. Путем изменения размеров заготовки и элементов штамповой оснастки степень деформации изменяли от 20 до 60%. При этом за счет изменения схемы деформации реализовали идею получения в маслоъемном кольце максимума деформации (60%), приходящегося на внешний диаметр кольца, а для компрессионного - на внутренний [8]. С увеличением степени деформации от 20 до 60% включения графита в направлении, параллельном деформации, вытягиваются, приобретая веретенообразную форму, а в перпендикулярном направлении утоняются, сохраняя округлую форму. Расчеты показали, что при уменьшении размера графитного включения в поперечном сечении в 2 раза, площадь его в продольном сечении возрастает на 35%, что способствует удержанию масляной пленки на рабочей поверхности кольца и повышает износостойкость трущейся поверхности.

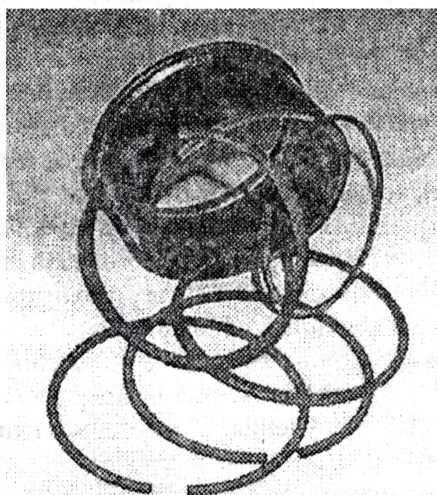


Рис. 4. Штампованная чугунная заготовка (маслота) и готовые уплотнительные кольца трансмиссии МЗКТТ-547

Таким образом, в компрессионном кольце на наружной поверхности включения графита имеют форму, близкую к сферической и практически не текстурированы, благодаря чему достигается максимальное значение упругости кольца. В маслоъемном кольце - наоборот, вытянутые, текстурированные включения графита на поверхности кольца имеющие большее сечение, обеспечивают повышение антифрикционных свойств. Операции механической обработки и термофиксацию при

600°C для колец из деформированного чугуна проводили по серийной технологии. Испытания показали полное отсутствие поломок колец при сборке, увеличение прочности при изгибе на 35%, тангенциальной силы на 65%, жесткости на 50%, усилия при разрушении на 103%. Разработаны и переданы МЗКТ технические условия на уплотнительные кольца из деформированного чугуна. Опытная партия колец из деформированного чугуна прошла полный цикл длительных ресурсных испытаний в объеме 5000 часов (соответствующий пробегу 150-200 тыс. км), после которых масса и размеры опытных колец практически не изменились, а потери масла уменьшились в 7 раз. Результаты испытаний предприятие считает исчерпывающими, новая технология принята для внедрения на МЗКТ.

**Технико-экономическая эффективность** использования деформированного чугуна обеспечивается за счет следующих факторов.

1. 100%-ное импортозамещение проката стали 20ХНЗА. По детали "шестерня полуоси" (годовая программа 47940 штук) достигается экономия 158 тонн проката, по "сателлиту" (программа

184480 шт.) - 194 тонны.

2. Уменьшение трудоемкости механической обработки и расхода инструмента за счет использования более точной заготовки и лучшей обрабатываемости чугуна.

3. Снижение массы деталей на 9% за счет меньшей плотности чугуна по сравнению со сталью, составляющее на одном комплекте (1 шестерня полуоси и 4 сателлита) 0,68 кг.

4. Снижения уровня шума зубчатой пары в автомобиле на 2-4 дБА. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологии при изготовлении шестерен дифференциала автомобиля МАЗ-5336 превышает 400 тысяч долларов США.

#### Выводы

Использование горячей пластической деформации расширяет возможности применения чугуна в промышленности, существенно повышает его характеристики, может составить серьезную конкуренцию стальному прокату и является экономически выгодным.

#### Литература

1. Дудецкая Л.Р., Покровский А.И. Исследование прочности и пластичности чугунов в горячем состоянии. // Весці НАНБ. Сер. фіз.-тэхн. навук. - 2000. - № 4. - С. 51-55.

2. Дудецкая Л.Р., Покровский А.И., Гаухштейн И.С., Демин М.И., Гурченко П.С. Деформирование как средство упрочнения чугунных отливок. // Автомобильная промышленность. - 2001. - № 7. - С. 30-33.

3. Дудецкая Л.Р., Покровский А.И., Гаухштейн И.С., Демин М.И., Гурченко П.С. Использование деформированных и упрочненных на бейнитную структуру чугунных отливок в производстве машиностроительных деталей. // Автомобильная промышленность. - 2001. - № 11. - С. 40-44.

4. Патент С1 ВУ МПК<sup>7</sup> С22С37/00. Чугун / Л.Р. Дудецкая, А.И. Покровский, И.К. Данильчик. - № 4427; Заявл. 27.11.97; Оpubл. 30.06.02 // Афiцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь - 2002 - № 2.-С. 48.

5. Заявка на изобретение РБ № 20000905 от 03.10.2000, МКИ<sup>5</sup> В21К1/30. Способ изготовления зубчатых колес из высокопрочного чугуна.

/Л.Р. Дудецкая, А.И. Покровский, И.С. Гаухштейн. Физико-технич. ин-т НАНБ; Заявл. 03.10.00; Оpubл. 20.02.02, Бюл. № 2 // Афiцыйны бюлетэнь- 2002. - №2. -С. 72.

6. А. с. 1731836 СССР, МКИ<sup>5</sup> С21D5/00. Способ изготовления изделий из высокопрочного чугуна / С.Н. Леках, Л.Р. Дудецкая, В.И. Тугов, Н.И. Бестужев, В.А. Тиманюк, А.И. Покровский. Белорусский политехнич. ин-т; / Заявл. 16.04.90; Оpubл. 07.05.92, Бюл. № 17 // Открытия. Изобретения. -1992. -№17. -С. 114.

7. А. с. 1748912 СССР, МКИ<sup>5</sup> В21К1/30. Способ изготовления зубчатых колес из высокопрочного чугуна / Л.Р. Дудецкая, В.А. Тиманюк, С.Н. Леках, Н.И. Бестужев, А.И. Покровский. Физико-технич. ин-т АНБ; / Заявл. 20.04.90; Оpubл. 23.07.92, Бюл. № 27 // Открытия. Изобретения. - 1992. -№27.-С. 37.

8. Заявка на изобретение РБ № 970621 от 18.11.1997, МКИ С21D5/02. Способ изготовления уплотнительного кольца / Л.Р. Дудецкая, А.И. Покровский, И.К. Данильчик. Физико-технич. ин-т НАНБ; Заявл. 18.11.97; Оpubл. 16.05.99, Бюл. № 2 // Афiцыйны бюлетэнь.- 1999. - № 2. - С. 48.