

## ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЕСТЕРЕН ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ МАЗ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА

*Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Беларусь*

Развитие машиностроения требует повышения качества, надежности и долговечности изделий при одновременном снижении их себестоимости. Это обеспечивается внедрением более эффективных и дешевых конструкционных материалов, одними из которых являются чугуны с компактной формой графита - высокопрочный и ковкий. В автомобилестроении эти материалы успешно применяют для литья широкой номенклатуры деталей, как например коленчатых и распределительных валов, поршневых колец, шатунов, головок блоков, ступиц колес и др. [1].

Одним из путей повышения прочностных характеристик чугунных деталей является использование в технологическом процессе их изготовления операции горячей пластической деформации [2]. Применение деформации позволяет придать заготовке форму, близкую к готовому изделию, существенно проработать и облагородить литую структуру и повысить прочностные свойства чугуна до 2-х раз по сравнению с исходным состоянием [3]. Значения прочности деформированного чугуна сильно зависят от степени деформации и скорости последующего охлаждения. Например, для чугуна марки ВЧ45, обладающего исходной прочностью 450 МПа, после его деформации со степенью 80% и охлаждения на воздухе, предел прочности при растяжении составляет 950-1050 МПа. Такие значения прочности сопоставимы с уровнем легированных сталей и дают возможность проведения экспериментов по замене материала высоконагруженных шестерен грузового автомобиля на чугунные.

Работы по изготовлению шестерен трансмиссии из деформированного ковкого и высокопрочного чугуна проводились Физико-техническим институтом НАН Беларуси на Минском автомобильном заводе. Изготавливали шестерни дифференциала заднего моста автомобиля МАЗ-5336 - шестерню полуоси (вес 3,3 кг, диаметр 118 мм) и сателлит (1,05 кг, диаметр 89 мм, рис. 1), и главную зубчатую пару самосвала МАЗ-5551 - ведущую и ведомую шестерни (10,4 и 13,8 кг). Существующая на заводе технология предусматривала резку проката стали 20ХНЗА на мерные заготовки, их нагрев до 950-1100°C, ковку, отжиг, предварительную механическую обработку, нарезку зуба, цементацию, шлифовку.

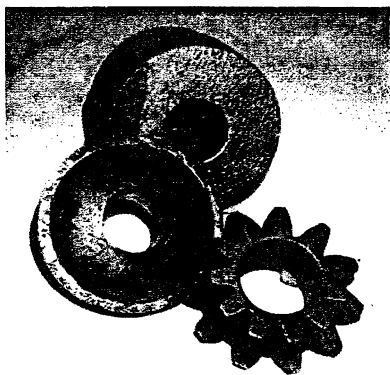


Рис. 1. Литая заготовка, поковка и готовая шестерня дифференциала МАЗ-5336 из чугуна (дет. 5336-2403056)

Неравномерное сжатие обеспечивали приложением противодавления усилием 15-20 МПа. Поковки имели форму, близкую к готовой детали, но без формообразования зубьев на зубчатом венце шестерни.

Степень деформации в зоне зубчатого венца варьировали от 20 до 75% за счет изменения размеров заготовки и количества штамповочных переходов. Выход годного составлял 97-100%.

Перспективность замены стали деформированным чугуном объясняется несколькими факторами. Во-первых, чугунолитейное производство, в отличие от сталепрокатного, имеется на большинстве машиностроительных предприятий и является более дешевым. При этом экономится импортируемый прокат 20ХН3А, что составляет для детали "сателлит", на программу выпуска 184480 шт., почти 200 тонн. При обработке чугуна снижается трудоемкость механической обработки и расход инструмента за счет использования более точной заготовки и лучшей обрабатываемости чугуна. Происходит снижение массы деталей на 9% за счет меньшей плотности чугуна по сравнению со сталью, что составляет только на одном комплекте шестерен дифференциала 0,68 кг.

Испытания шестерен на статическую прочность при кручении проводили на стенде С455 испытательного центра МАЗа, позволяющим получать максимальный крутящий момент 40 кН·м. Стенд состоял из установки, на которую монтировали испытываемые шестерни (рис. 2), карданного вала, редуктора и двигателя. Значения крутящего момента, передающегося от двигателя через редуктор и карданный вал к шестерням, фиксировали датчиком TG-1000/B (Австрия). Угол закручивания измеряли потенциометрическим датчиком, установленным на выходном валу планетарного

Предлагаемая технология [4] включала получение литых цилиндрических заготовок под деформацию, их отжиг, черновую токарную обработку, горячую пластическую деформацию выдавливанием, нарезку зуба, изотермическую закалку, шлифовку. Процесс легко совмещается с имеющимся литейным, штамповочным и термическим оборудованием, требуется только изготовление специальной штамповой оснастки. Использовали индукционный нагрев заготовок до температуры 900-1000°C. Выдавливание осуществляли на серийном кривошипно-шатунном прессе ГВ8538 усилием 630 т. Всестороннее неравномерное сжатие обеспечивали приложением противодавления усилием 15-20 МПа. Поковки имели форму, близкую к готовой детали, но без формообразования

редуктора. В качестве измерительных приборов использовали усилители KWS501.D (Германия) с цифровой индикацией.

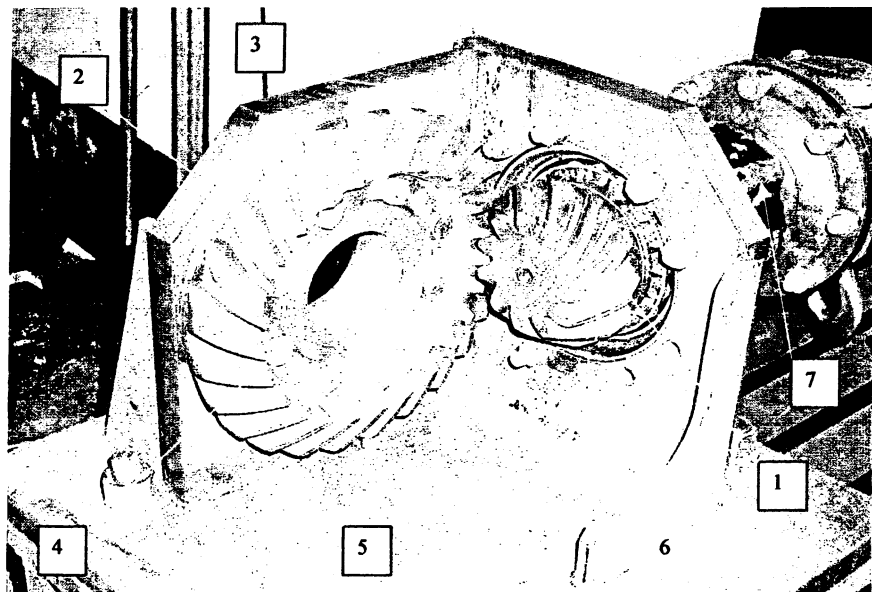


Рис. 2. Общий вид установки для определения статической прочности главной пары: 1-ведущая шестерня, 2-ведомая шестерня, 3-стойка, 4-болты крепления ведомой шестерни, 5-штифты, 6-болты крепления стакана подшипников, 7- стакан подшипников

Суть испытаний состояла в том, что одну из шестерен зубчатой пары жестко и неподвижно закрепляли в установке, а вторую, находящуюся с ней в зацеплении, начинали плавно вращать с очень малой скоростью, что приводило при определенном угле закручивания к разрушению деталей. Так, при испытании главной зубчатой пары, неподвижно фиксировали ведомую шестерню, а вращали ведущую. Изгибную прочность оценивали по величине крутящего момента при разрушении. По результатам испытаний определяли зависимость крутящего момента от угла закручивания и максимальный крутящий момент. Предварительно каждую из пар шестерен трижды обжимали крутящим моментом величиной 10 кН·м с последующей разгрузкой до нуля с целью выборки существовавших зазоров. В качестве контрольных деталей использовали серийные шестерни из стали 20ХНЗА после цементации, а также шестер-

ни из литого чугуна, изготовленные по серийной технологии без деформационной обработки. Предварительные исследование пятна контакта на поверхности зубьев после приработки на контрольно-обкатном станке Глиссон Т6А зафиксировали полную идентичность зон касания чугунных литых, штампованных и стальных шестерен.



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

ные шестерни в результате испытаний не разрушались, а происходило скручивание и разрушение стальной полуоси редуктора при крутящем моменте 18,2 кН·м, оказавшейся “узким местом” данного узла. Таким образом, штампованные шестерни из ковкого чугуна по своим прочностным характеристикам не ограничивают общую прочность дифференциала.

При испытаниях шестерен главной передачи МАЗ-5551 на прочность сравнивали (рис. 4) серийные стальные шестерни (3 комплекта) с литыми чугунными после термообработки на бейнитную структуру (2 комплекта). Штампованные шестерни главной передачи не испытывались, так как не прошли полный цикл обработки.

Испытания шестерен дифференциала МАЗ-5336 показали, что шестерни из литого ковкого чугуна разрушились при крутящем моменте 9 кН·м, а из деформированного ковкого чугуна - при 19,1 кН·м, то есть в 2,1 раза больше, чем литые. Разрушение чугунных шестерен происходило путем поломки одного или нескольких зубьев у сателлита, шестерни, либо одновременно у обеих сопрягаемых деталей. Характер кривых на графике зависимости крутящего момента от угла закручивания (рис. 3) у литых и штампованных шестерен существенно отличается. Для штампованных чугунных шестерен эта зависимость аналогична стали и характеризуется площадкой текучести, причем увеличение угла закручивания почти не сказывается на значениях крутящего момента. Угол наклона кривой на графике для штампованных чугунных шестерен меньше, чем у литых и близок к стали, что означает большую пластичность деформированного чугуна. Стальные шестерни

Величина крутящего момента, при котором происходило разрушение у серийных и опытных шестерен сопоставима, у стальных она составила 26,0-29,0 кН·м, у чугунных - 26,4-26,8 кН·м. Значения углов закручивания, соответствующих максимальному крутящему моменту, отличаются: у стальных шестерен они приходятся на 19-23°, у чугунных - на 28-38°. Характер кривых зависимостей  $M_{кр}$  от угла закручивания различен; для стали они имеют более ярко выраженный максимум, у бейнитного чугуна максимум сглажен. Наличие протяженной площадки текучести говорит о высокой пластичности чугунных шестерен (относительное удлинение образцов из бейнитного чугуна достигает 10%). Наклон кривых относительно оси абсцисс больше у стальных шестерен, что говорит о их большем сопротивлении деформации. Как у чугунных, так и у стальных зубчатых пар разрушалась только ведущая шестерня, причем не в районе зубчатого венца, а в области хвостовика. Возникновение трещины начиналось в шлицевой части, как правило в месте перехода шлицов в цилиндрическую поверхность. Развитие трещины происходило по образующей цилиндрической поверхности ведущей шестерни, опоясывая ее по кольцу (для стали) или по спирали (для чугуна), приводя к скручиванию хвостовика и полному разрушению. Только в одном из случаев при испытаниях серийных деталей произошло разрушение зуба ведомой шестерни путем его среза у основания.

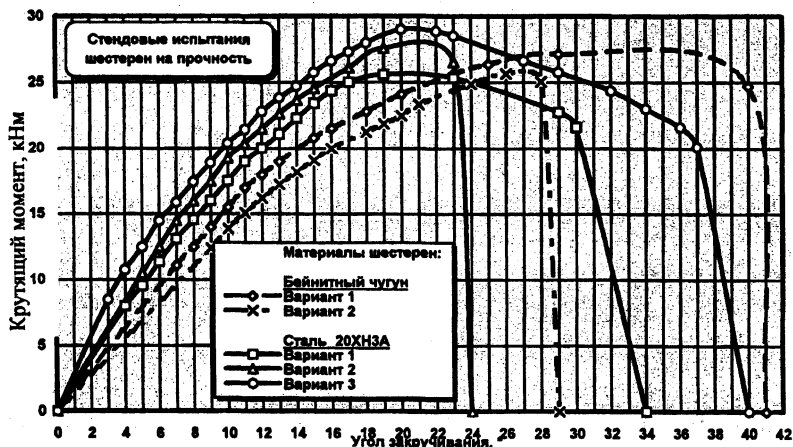


Рис. 4. Зависимость крутящего момента от угла закручивания при стендовых испытаниях шестерен главной передачи МА3 5551 на изгибную статическую прочность

#### Выводы

1. Изгибная прочность при статических испытаниях шестерен из литого чугуна меньше серийных приблизительно в 2 раза. Изгибная прочность деформированного и

термообработанного на bainитную структуру чугунов сопоставима с прочностью шестерен из стали 20ХНЗА.

2. Зависимость крутящего момента от угла закручивания у шестерен из литого и деформированного чугуна, а также серийных стальных имеет различный характер.

3. Для всестороннего сопоставления прочности шестерен из деформированного чугуна и стали 20ХНЗА необходимо проведение динамических испытаний в условиях реальной эксплуатации трансмиссии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шебастинов М.П., Абраменко Ю.Е., Бех Н.И. Высокопрочный чугун в автомобилестроении. – М.: Машиностроение, 1988. – 216 с.
2. Дудецкая Л.Р., Покровский А.И., Гаухштейн И.С. и др. Деформирование как средство упрочнения чугунных отливок. // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 7. – С. 30–33.
3. 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.
4. 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; Опубл. 20.02.02, Бюл. № 2 // Афішыны бюлетэнь. – 2002. – № 2. – С. 72.

УДК 629.114.2 – 182.8

В.Б. Попов

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГОСРЕДСТВА

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого*

*Гомель, Беларусь*

Подъемно-навесное устройство (ПНУ) является обязательным компонентом мобильного сельскохозяйственного агрегата (МСХА). Оно предназначено для связи мобильных энергоносителей (тракторов, универсальных энергосредств) с навесными орудиями. ПНУ представляет собой гидромеханическую систему, (рис.1) состоящую из гидропривода и механизма навески (МН). МН – основной структурный компонент ПНУ, определяющий характер взаимодействия мобильного энергосредства с навесной машиной (НМ).