

## РАЗРАБОТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОМД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ АВТОМОБИЛЕЙ

### DESIGN, MODELING AND IMPROVEMENT OF METALL DEFORMING PROCESSES FOR AUTOMOTIVE BALL JOINS MANUFACTURING

Гун Игорь Геннадьевич, д.т.н., профессор

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, i-gun@yandex.ru*

Михайловский Игорь Александрович, к.т.н., доцент

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, i-mikhailovsky@yandex.ru*

Осипов Дмитрий Сергеевич, к.т.н., доцент

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, dmitry\_osipov@mail.ru*

Куцепендик Вячеслав Иосифович, к.т.н., доцент

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, kutsependik@mail.ru*

Сальников Виталий Владимирович, к.т.н., доцент

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, bestvit@bk.ru*

Гун Евгений Игоревич

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, ура\_gun@mail.ru*

#### Abstract

In this article you can see the overview of scientific and technical problems and trends which were researched by authors during their working on the improvement of the technological processes of manufacturing of front suspension and wheel systems ball joints as well as their components for Russian and foreign cars. Also you can see the main scientific and technical results which were achieved within that working, they belong to increasing of the efficiency of processes, inventing and improvement of new and current metal deforming processes as cold forging, hot forging, sheet stamping of ball joints' components. Also following materials are presented in the article: results of the improvement of equipment and test methods of ball joints' exploitation characteristics as well as qualimetric complex values of ball joints quality, technological processes, quality systems etc.

Суммарную емкость рынка автомобильных компонентов, запчастей и материалов в России по итогам 2011 года аналитики агентства «Авто-стат» оценили более чем в 50 млрд. USD. На долю первичного рынка приходится 28% от этого количества (14,8 млрд. USD). Вторичный рынок потребляет порядка 36,7 млрд. USD (72%). В мировой практике соотношение близко к обратному — на первичный рынок приходится около 70%, а на вторичный — только 30%.

Средние темпы роста первичного рынка автокомпонентов составляют примерно 20—25% в год. Вторичный рынок запасных частей растет чуть менее быстрыми темпами (12—15% в год).

Спрос на качественные компоненты и запчасти в России растет. Его генерируют как уже действующие автосборочные предприятия иностранных производителей, так и отечественные автозаводы. Кроме того, потребители в последнее время также проявляют повышенный интерес к качественным запасным частям, что отражается на вторичном рынке.

Этот фактор заставляет российские автозаводы поднимать планку требований в области качества к своим поставщикам. При этом снижение текущей рентабельности автомобильного производства диктует для партнеров условие повышения качества поставок без изменения цены. Автопроизводители, грозя найти альтернативу, вынуждают поставщиков снижать цены на уже определенную номенклатуру поставок.

Если говорить о мировой практике, то все поставщики ведущих мировых автопроизводителей

выдерживают показатель от 10 до 100 PPM (дефектов на миллион изделий). Пять-семь лет назад допустимый уровень PPM на российских заводах равнялся 1000 дефектов на миллион, теперь на большинстве предприятий требования к уровню дефектов составляют 100—200 PPM, а на некоторых даже ограничивают эту планку цифрой в 35—50 PPM.

Некоторые российские поставщики не выдерживают такого уровня требований, в результате заводам приходится переходить на комплектацию импортными деталями. Например, только за 2007-10 год на АВТОВАЗе доля поставок импортных автокомпонентов выросла до 6,8% против 1,7% в 2007 году.

Еще одной общемировой тенденцией, пришедшей на российский рынок, является привлечение поставщиков к процессу разработки комплектующих для новых моделей. А это в свою очередь ведет к необходимости самостоятельно вести исследовательские и конструкторские работы на предприятиях-производителях автокомпонентов.

В этом случае как инвестиционная, так и инжиниринговая нагрузка перемещается от автопроизводителя к поставщику.

Металлические изделия, применяемые в автомобильной промышленности, зачастую являются ключевыми компонентами, обуславливающими уровень качества товаров, производимых машиностроительными и автомобильными компаниями. Среди огромного перечня продуктов промышленного производства, изготавливаемых с применением металлических составных частей, особую роль

играют узлы, предназначенные для использования в качестве автомобильных компонентов. Формирование заданных потребительских свойств автокомпонентов во многом обеспечивается уровнем производства их металлических комплектующих изделий.

Одними из наиболее ответственных узлов автомобиля, качество которых практически полностью определяется уровнем металлоперерабатывающих процессов, являются шаровые шарниры передней подвески и рулевого управления. Большинство показателей качества данных изделий формируется на стадии осуществления операций обработки металлов давлением при изготовлении их компонентов, а также создания сборочных соединений узлов.

Кафедра технологий сертификации и сервиса автомобилей МГТУ им. Г.И. Носова совместно с техническими службами ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) и другими вузами страны на протяжении уже более 10 лет ведут работу по совершенствованию сквозных технологических процессов производства вышеуказанных шаровых шарниров и их комплектующих изделий для российских и зарубежных автомобилей, включая процессы ОМД, а также методов контроля и квалитметрической оценки качества продукции, процессов и систем менеджмента качества с целью обеспечения, управления и улучшения качества готовой продукции, повышения эффективности и снижения себестоимости процессов производства.

Общий комплекс научно-технических задач и направлений, которые были охвачены, представлен на рисунке 1.

Основные научно-технические результаты, которые были получены в процессе работы:

*Совершенствование процессов закатки и запрессовки шаровых шарниров:*

- Поиск эффективных условий процесса запрессовки шаровых шарниров 2123-2904192-03 с увеличенной прочностью на выдавливание потребовал проведения исследования напряженно-деформированного состояния бурта корпуса при формировании сборочного соединения узла. С этой целью разработана модель процесса запрессовки шарового шарнира 2123-2904192-01 с применением метода конечных элементов.

- Произведен поиск эффективных условий проведения процесса запрессовки шарового шарнира. Параметрами оптимизации были выбраны геометрические размеры бурта корпуса – его толщина и размер внешнего утолщения. В качестве критериев были выбраны: величина перекрытия – отношение длины плотного контакта бурта корпуса после деформации с горизонтальным участком поверхности обоймы вкладыша к длине сечения горизонтального участка обоймы вкладыша; износ инструмента при запрессовке; прочность шарового шарнира при выдавливании шарового пальца из корпуса. Оптимальные параметры процесса запрес-

совки были определены с учетом ограничений типа равенств и неравенств, соответствующих условиям задачи запрессовки и задачи выдавливания, а также ограничений на параметры процесса с учетом весомости критериев качества изделия и процесса.

В результате разработан способ и режимы формирования сборочных соединений шаровых шарниров 2110-2904192-01, 2123-2904192-03, 21214-2904192, использующихся при производстве переднеприводных и полноприводных автомобилей на ОАО «АВТОВАЗ» (г. Тольятти) и ЗАО «Джи Эм - АВТОВАЗ» (г. Тольятти).

Реализованные в условиях ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) технологические процессы запрессовки шаровых шарниров позволили улучшить потребительские свойства данных изделий. А именно повысить стабильность получаемых значений показателя качества «усилие выдавливания шарового пальца» и снизить значения взвешенной вероятности выхода несоответствующей продукции по данному показателю качества на 43,70%.

*Совершенствование технологии поверхностно-пластического деформирования сферических головок шаровых пальцев:*

- Разработана на базе вариационного метода математическая модель процесса смятия микронеровности на сферической поверхности при поверхностном пластическом деформировании.

- Разработан новый способ поверхностного пластического деформирования, получивший название «планетарно-поворотная обкатка» (ППО).

- Регламентированы требования к качеству поверхности сферических головок шаровых пальцев, а также разработаны режимы обработки в зависимости от исходного состояния поверхности для производства шаровых пальцев шарниров переднеприводных и полноприводных автомобилей ВАЗ.

Разработаны режимы чистовой обработки поверхностным деформированием планетарной обкаткой неполных сферических головок шаровых пальцев диаметром 25 - 32,7 мм, обеспечивающие регламентируемый уровень качества поверхности ( $Ra \leq 0,20$  мкм и  $Ra \leq 0,45$  мкм, в зависимости от моделей шаровых шарниров).

Разработанный новый способ поверхностного пластического деформирования – планетарно-поворотная обкатка и варианты его реализации (патенты РФ №2162785, №2188115, №2201325), позволяют обеспечить требуемый уровень качества данных компонентов шаровых шарниров при снижении затрат на их изготовление и повышении стабильности показателей качества комплектующих изделий (высотные параметры шероховатости) и узлов в сборе (моменты сопротивления вращению и качению шарового пальца).



Рис. 1. Граф научно-технических задач и направлений работы кафедры ТССА

*Разработка и совершенствование процессов холодной листовой штамповки корпусов шаровых пальцев передней подвески:*

- Разработана математическая модель холодной листовой штамповки корпусов шаровых шарниров передней подвески по переходам с использованием метода конечных элементов.

- Разработана новая технология процесса многопереходной листовой штамповки корпусов шаровых шарниров в последовательных штампах. Модель позволила оптимизировать количество переходов корпусов 2108-2904191 и 2108-2904188, наиболее оптимально изменить раскрой ленты по

переходам и снизить расход металла без возникновения дефекта «утонение стенок корпуса» в местах перегиба и максимальной вытяжки. В конечном итоге это позволило обеспечить соответствие нормативным требованиям параметра шарового шарнира в сборе – «вырыв шарового пальца из корпуса» и «выдавливание шарового пальца из корпуса» на ЗАО НПО «БелМаг».

*Разработка и совершенствование процессов холодной объемной штамповки шаровых пальцев передней подвески:*

- Исследованы упрочнения и неравномерность деформации в сферической головке шарового

пальца при ХОШ на различных марках сталей (38ХГНМ, 12ХН, 40Х, 30Г2Р).

- Разработана математическая модель процесса ХОШ стержневых изделий с головками конической и сферической форм на базе вариационного метода в дискретной постановке. Определены энергосиловые параметры процесса.

- Разработана и запатентована новая схема технологического процесса ХОШ шаровых пальцев. Определены и рассчитаны переходы заготовок шаровых пальцев 2101-2904187-70 с учетом эффекта Баушингера.

Проведенная работа позволила реализовать серийное производство шаровых пальцев в условиях ОАО «Магнитогорский калибровочный завод» и ЗАО НПО «БелМаг».

*Разработка новых методик оценки технологических процессов:*

- Разработаны и апробированы методики оценки технологической эффективности процессов производства шаровых пальцев, основанные на вычислении комплексной оценки вероятности получения соответствующей продукции по заданным параметрам качества изделия.

- Разработана номенклатура показателей, характеризующую эффективность процесса производства шаровых пальцев для шаровых шарниров российских и иностранных автомобилей, включающая наряду с традиционными параметрами качества продукции и процесса, комплекс организационно – экономических требований и новые функции свертки единичных оценок доминирующих показателей, единичных и групповых оценок доминирующих и компенсируемых показателей, удовлетворяющие основным положениям аксиоматики логики оценок.

Методики применялись для освоения наиболее результативной технологии производства шаровых пальцев 22259 и БМ205 для шаровых шарниров автомобилей «Додж Рэм» и «Рено Меган».

*Разработка новых методик оценки систем менеджмента качества:*

- Разработана концепция для определения критериев оценки результативности функционирования СМК предприятия, основанная на принципах менеджмента качества по МС ИСО 9000, а также критерии для оценки результативности функционирования СМК предприятия, реализующие предложенную концепцию.

- Разработана и обоснована математическая модель оценки результативности функционирования СМК на основе установленных критериев.

- Разработаны методики определения и балльной оценки комплексного показателя результативности функционирования СМК предприятия и составляющих его критериев, состоящих в свою очередь из единичных свойств.

*Разработка и совершенствование оборудования и методов испытаний эксплуатационных характеристик шаровых шарниров:*

- В результате анализа установлено, что показатели качества шаровых шарниров «циклическая

долговечность шарового шарнира» и «гарантийный срок (пробег) эксплуатации шарового шарнира» являются потенциально дублирующими друг друга, следовательно, не могут одновременно использоваться при проведении оценки результативности технологических процессов производства изделий.

- Для определения взаимосвязи между данными двумя показателями качества изделий разработана методика комбинированных испытаний шаровых шарниров передней подвески, включающая в себя одновременное проведение ускоренных стендовых и дорожных испытаний узлов с последующей комплексной обработкой результатов.

- Разработан и изготовлен стенд для испытаний шаровых шарниров передней подвески легковых автомобилей, который, благодаря прогрессивной системе обеспечения имитационных движений и силовых воздействий, позволяет создавать условия проведения стендовых испытаний, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации.

- В соответствии с методикой проведения комбинированных испытаний проведен комплексный анализ результатов ускоренных стендовых и дорожных испытаний, в результате которого определено соотношение между показателями качества шаровых шарниров 2101-2904192-03 «гарантийный срок (пробег) шарового шарнира» и «циклическая долговечность шарового шарнира», составившее 22,86 циклов на 1 км пробега.

*Гармонизация требований российских и зарубежных стандартов на металлопрокат:*

Разработка требований к металлопрокату проводилась по следующим направлениям:

- требования к исходному металлопрокату (химические свойства, механические свойства, микро- и макроструктура, обезуглероженный слой, точность геометрических размеров);

- требования к отожженному металлопрокату (механические свойства, микро- и макроструктура; обезуглероженный слой);

- требования к контролю и испытаниям металлопроката как исходного, так и отожженного (методики контроля и испытаний, совместимость российских и зарубежных методов).

- Разработаны нормативные требования на поставку горячекатаного проката из стали марок 40Х Селект, 41Х1, 42Х1М, представляющих собой полноценные аналоги среднеуглеродистых хромсодержащих сталей 5140Н, 41CrS4, 42CrMoS4, используемых при производстве шаровых пальцев легковых автомобилей в странах Западной Европы и Северной Америки.

Реализация предложенных решений позволила разработать и внедрить технические соглашения между ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск), ОАО «ОЭМК» (г. Старый Оскол), ОАО «БелЗАН» (г. Белебей) на поставку горячекатаного проката из стали марок 40Х Селект, 41Х1, 42Х1М. Прокат был успешно использован при производстве шаровых пальцев 22259 и БМ537145-70/1 по заказу компа-

нии TRW Automotive для поставок на заводы в Канаде и Чехии для изготовления шарниров автомобилей марок «Додж» и «Ауди». Прокат из стали марки 41X1 (патент РФ №2368672) одобрен ОАО «АВТОВАЗ» и при меняется в качестве исходного материала при производстве шаровых пальцев 2101-2904187-10, 2123-2904063-01 и 2110-2904187, используемых в качестве комплектующих изделий шаровых шарниров 2101-2904185-04, 2110-2904192-01, 2123-2904192-03, 21214-2904192, поставляемых ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) на сборочный конвейер данного предприятия.

Все представленные результаты позволили в свое время организовать поставки на конвейеры ОАО «АВТОВАЗ», ЗАО «Джи-Эм АВТОВАЗ», ООО «Автомобильный завод «ГАЗ» новых конструкций шаровых шарниров и поддерживать приемлемый для потребителей уровень качества продукции и уровень цен.

Результаты работы закреплены в многочисленных публикациях, патентах на изобретения, патентах на способ обработки и свидетельствах на полезные модели.

#### **Список литературы**

1. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 360 с.
2. Осипов Д.С., Гун И.Г., Михайловский И.А. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества производства шаровых пальцев // Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 147 с.
3. Гун И.Г., Рубин Г.Ш., Сальников В.В., и др. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев // Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 134 с.