

Исследование технологий получения и обработки заготовок деталей транспортных средств

08, август 2014

Лещинский Д. Ю.¹, Смирнов А. А.¹, Ягубова Е. В.^{1,а}

УДК: 629.33

¹Россия, МГТУ им. Баумана

^аyagubova.evg@yandex.ru

Введение

Технологии производства элементов систем привода колес транспортных средств постоянно развиваются и совершенствуются. Это относится как к методам изготовления деталей привода, так и к способам обработки поверхностей деталей.

При разработке новых или доработке существующих конструкций необходимо учитывать опыт, накопленный ведущими отечественными и зарубежными автопроизводителями и производителями автокомпонентов.

Для этого необходимо проводить анализ применяемых технологий производства и обработки деталей систем привода, основных тенденций развития, результаты внедрения передовых технологий в производственный процесс.

В статье показан обзор и анализ технологий термообработки, механической обработки заготовок (нарезание зубчатых венцов, фрезерная обработка, шлифование, хонингование зубьев, зенкерование отверстий, накатка резьбы и профилей), литья и т.д. Были рассмотрены технологии, станки и оборудование таких компаний-производителей как IPSEN, Boehringer, Gleason-Pfauter, Klingelberg, Oerlikon, Gleason-Hurth, Sunnen AG, Heule, Profiroll Technologies GmbH, Georg Fisher Automotive.

1. Технологические процессы обработки заготовок

На сегодняшний день одними из основных способов обработки заготовок являются термическая, механическая, электрохимическая, электроэрозионная, а также обработка давлением.

В настоящее время используют различные методы обработки, также существует широкий выбор операций, производимых на современном оборудовании. Таким образом, возможно подобрать с учетом особенности структуры и характеристик обрабатываемого металла не только класс станка, но и настройку режимов работы требуемого оборудования и необходимой оснастки. В то же время широкий выбор современных технологий ме-

таллообработки дает возможность выполнять большое количество различных операций. Кроме того, разработки новых сплавов, постоянный рост объемов производства, а также увеличение потребностей производства в металлообработке, означает, что технологии металлообработки будут активно развиваться и в дальнейшем.

При производстве систем привода колес транспортных средств большое внимание уделяют разработке зубчатых колес, поскольку именно зубчатые пары определяют долговечность, надежность работы конструкции, а также параметры шума при работе передачи.

Проведенный анализ многолетнего зарубежного и отечественного опыта серийного производства и эксплуатации зубчатых передач позволил выявить большое влияние технологических факторов на динамику, ресурс и надежность работы зубчатых передач.

Технология производства «бесшумных» передач повышенного ресурса эксплуатации должна обеспечивать:

- высокую точность изготовления базовых поверхностей и всех элементов зацепления;

- высокое качество химико-термического упрочнения рабочих поверхностей зубчатых колес;

- оптимальную модификацию рабочих поверхностей зубьев, обеспечивающую снижение динамических нагрузок и вибраций в зацеплении и исключаящую заедание зубьев в работе зубчатых пар;

- низкую шероховатость рабочих поверхностей зубьев;

- снижение затрат на изготовление зубчатых колес.

Применение технологий производства зубчатых колес высокого уровня почти во всей технологической цепи позволяет улучшить качество изготавливаемых деталей, а также повысить их эксплуатационные характеристики.

К таким технологиям можно отнести:

- ионную химико-термическую обработку, включающую процессы ионной цементации, нитроцементации и азотирования;

- высокопроизводительную механическую обработку лезвийным инструментом, включая обработку поверхностей с твердостью HRC ~60;

- высокоэффективные методы глубинного шлифования, включая шлифование зубьев из целой заготовки;

- высокопроизводительный метод финишной обработки зубьев – зубохонингование, обеспечивающий восстановление точности и высокое качество упрочненной поверхности зубьев колес после химико-термической обработки.

Так, например, преимуществом цементации является возможность формирования диффузионных слоев высокой несущей способности.

Наиболее эффективной является ионная цементация. Этот процесс позволяет достичь высокой равномерности науглероживания, при этом избежать внешнего и внутреннего окисления, уменьшить коробление деталей.

Примером оборудования для реализации данного технологического процесса можно назвать полностью автоматизированные установки, производимые фирмой IPSEN (Германия). В печах фирмы IPSEN возможно обрабатывать детали сложной геометрии с получением минимальных поволодок и даже без них. Также фирма IPSEN уделяет большое внимание защите окружающей среды [1].

Рассмотрим примеры технологий и технологического оборудования ведущих отечественных и зарубежных фирм.

Так, например, фирма Boehringer представляет новую гамму токарных станков серии NG для комплексной механической обработки заготовок зубчатых колес (рис. 1).

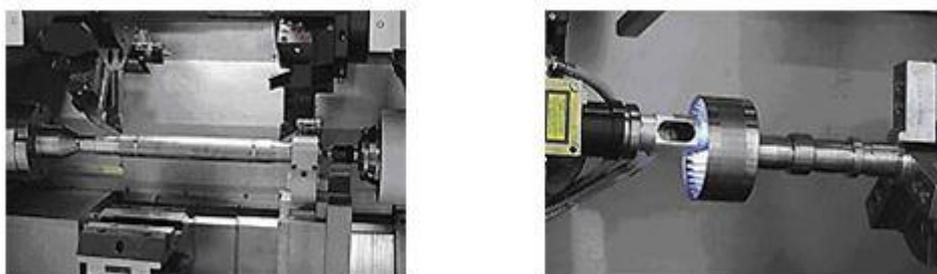


Рис. 1. Станки NG 200 DUO фирмы BOEHRINGER. С двумя шпинделями и двумя револьверными головками для одновременной обработки двух деталей

При проведении обработки торцов оба конца вала одновременно обрабатываются в размер длины детали и центрируются за одну фрезерно-центровальную операцию. Обработка точением осуществляется при последующем переходе. Преимуществами является сокращение технологической цепочки, использование одного станка вместо двух, сокращение времени цикла обработки [2].

Одни из наиболее технологичных станков для фрезерования зубьев зубчатых колес предлагает фирма Gleason-Pfauter. Оригинальная конструкция станин станков этой фирмы в сочетании с системой циркуляции охлаждающей жидкости, обеспечивает внутреннюю термостабилизацию деталей и узлов станков и позволяет обеспечивать высокую точность обработки. Технические характеристики станков приведены в таблице 1.

Таблица 1. Зубофрезерные станки фирмы Gleason-Pfauter

Модель	Номинальный диаметр заготовки, мм.	Номинальный модуль, мм	Максимальное перемещение осевых салазок, мм
Станки с вертикальным расположением детали			
Genesis 130H	130	3,0	350
Genesis 210 H	210	4,0	350
Genesis 210HiC	210	4,0	350
GP 200	200	5,0	250 (440)
GP 300	300	6,0	250 (440)
Горизонтальные зубофрезерные станки			
P 60	80/100	2,5/3+	220/320
P 90	100/125	3/5+	320 (400)
P 210L	180	3,0	300

Наиболее совершенные станки для профильного зубошлифования выпускают фирмы Gleason-Pfauter и Oerlikon. Сравнительные технические характеристики станков данных производителей приведены в таблице 2. В настоящее время наиболее эффективным методом шлифования зубчатых колес является профильное шлифование с использованием высокопористых шлифовальных кругов.

Таблица 2

Зубошлифовальные станки фирмы Gleason-Pfauter			
Модель	Номинальный диаметр заготовки, мм.	Максимальная глубина профиля, мм	Максимальное перемещение осевых салазок, мм
P 400 G	400	35 (45)	400 (600)
P 600 G	600	35 (45)	400 (600)
P 600/800	600 (800)	35 (45)	400 (1000)
Зубошлифовальные станки фирмы Oerlikon			
HELIX 400	400	35	260
VIPER 500	500	52 (30)	500
RAPID 650	650	80	650 (1000/1500)
RAPID 2500 I	2500	100	980

Компания Gleason разработала способ шлифования зубчатых колес МІТЕС. Этот способ обработки имеет преимущества по сравнению с обычным процессом притирки зубчатой пары после термообработки. Так, например, зубчатое колесо и шестерня должны притираться и обрабатываться совместно. В результате шестерни и зубчатые колеса не являются взаимозаменяемыми, и должны обрабатываться, храниться и транспортироваться в паре, что увеличивает затраты на логистику. Метод обработки МІТЕС позволяет осуществлять обработку рабочих поверхностей зубчатых колес с требуемой точностью и получать взаимозаменяемые шестерни и зубчатые колеса. Шлифование рабочих поверхностей зубчатых колес производится на станках Gleason Phoenix 200G CNC Hypoid Grinders.

В автомобильной промышленности в качестве финишного процесса после химико-термической обработки используют операцию хонингования зубьев зубчатых колес. Немецкая компания Gleason-Hurth разработала процесс шлифования закаленных зубьев Spheric Honing или Power Honing, благодаря которому достигается высококачественная конечная геометрия зубьев закаленных зубчатых колес, а также улучшается структура поверхности. Инструмент Power Honing — это абразивное внутреннее зубчатое колесо, которое сопрягается с заготовкой (внешнее зубчатое колесо). Скользящее осевое движение перекрестных осей удаляет материал с боковой поверхности ножки зуба.

Фирма Gleason-Hurth предлагает также процесс сферического зубохонингования, который реализован на станке с ЧПУ модели ZH 250 CNC-E. Этот процесс позволяет исправлять значительные погрешности зубонарезания и химико-термической обработки. Технология Spheric Honing обеспечивает высококачественную конечную геометрию зубьев закаленных зубчатых колес, одновременно улучшая структуру поверхности.

Швейцарская фирма Sunnen AG обладает передовыми технологиями прецизионного хонингования малогабаритных двигателей. Преимущества данных технологий:

1. Обеспечивают повышенную точность отверстия с одновременным снижением потребления масла, обеспечением более высокой мощности, а также сокращением выбросов газов.

2. Уменьшение зазора между отверстием и поршнем, обеспечивают повышение эффективности двигателей.

3. Обработка поверхности осуществляется таким образом, чтобы обеспечить лучшее удержание масла, что позволяет увеличить срок службы двигателя.

4. Обеспечивают улучшенный контроль процесса и большую точность.

Компания Sunnen AG разработала инструмент и систему управления инструментом для хонингования спиральных пазов в отверстиях длинных цилиндров. Альтернативы данному способу обработки не существует. Бортовой компьютер станка управляет всеми параметрами обработки: скорость вращения шпинделя, скорость возвратно-поступательного движения, скорость выдвижения хонинговальных брусков. Компьютер отслеживает также нагрузку по крутящему моменту и не допускает развития разрушающих нагрузок. Компьютерное управление и специальный инструмент позволяют обрабатывать конические отверстия и отверстия с переменным профилем [3].

Необходимо отметить, что конические зубчатые колеса с круговой формой зубьев являются наиболее сложным видом зубчатого зацепления. Поэтому технологиям проектирования и производства конических зубчатых колес необходимо уделять особое внимание.

Нарезание пары зубчатых колес чаще всего производится специальными зуборезными головками по схеме: колесо – двусторонним методом, шестерня – односторонним. Однако 6-ти координатные станки с ЧПУ фирмы Gleason серии PHOENIX позволяют обеспечивать обработку пары колес двусторонним методом.

В процессе производства конических зубчатых колес компания Klingelberg использует программный комплекс KIMoS. Программный комплекс используется на всех этапах проектирования и изготовления конических зубчатых колес. С его помощью при моделировании сложных конических зубчатых колес удается заранее учитывать все аспекты проектирования, производства, контролировать качество и оптимизацию зубчатых колес. Достигается возможность быстрого реагирования на конструктивные изменения геометрии боковой поверхности зуба, а также быстрой и точной коррекции параметров, что позволяет повысить надежность процесса производства зубчатых колес и уменьшить количество брака.

В свою очередь процесс шлифования зубьев конических зубчатых колес с круговой формой зубьев является наиболее сложной и ответственной операцией, требующей высокой квалификации оператора. Поэтому развитие зубошлифовальных станков шло в направлении достижения полной автоматизации цикла обработки, обеспечения быстрой наладки и переналадки станков. Зубошлифовальные станки выпускаются фирмами Gleason и Klingelberg. Краткие технические характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3

Зубошлифовальные станки фирмы Gleason			
Модель	Максимальный диаметр заготовки, мм.	Максимальный модуль, мм	Ширина зубчатого венца, мм
275 HC	275	10.0	55
280 HC	280	10.0	55
Зубошлифовальные станки фирмы Klingelnberg			
G 20	280	8.0	-
G 30	300	8.0	-

Станок G30 фирмы Klingelnberg обладает важной конструктивной особенностью: наличие двух независимо управляемых шлифовальных шпинделей и механизмов осцилляции шлифовальных шпинделей в двух плоскостях. Первое отличие дает преимущества при использовании станка в условиях мелкосерийного или единичного производства. Второе – обеспечивает высокую производительность обработки зубьев из целого материала методом глубинного шлифования.

Фирма Oerlikon предлагает станки моделей G27, G60, G80, которые отличаются вертикальным расположением шпинделя. Такое расположение обеспечивает оптимальный и беспрепятственный отвод стружки вниз. Важно также то, что все приводы находятся выше зоны обработки и, поэтому попадание на них шлифовального шлама исключается. Для продления срока службы и содержания рабочей зоны в чистоте защитный кожух с внутренней стороны полностью изготовлен из нержавеющей стали [9].

Заслуживает отдельного внимания также технология зенкерования отверстий, предложенная компанией Heule.

Благодаря новой технологии BSF инструмент совершает операцию зенкерования отверстия без замены инструмента, не поворачивая заготовку. В процессе рабочего хода рабочий клин инструмента отклоняется в рабочее положение (рис. 2).



Рис. 2. Технология зенкерования компании Heule

Преимущества данной технологии:

- Нет необходимости поворачивать заготовку, менять направление вращения.
 - Все компоненты рабочего клина инструмента легко меняются.
 - Возможно как горизонтальное, так и вертикальное перемещение инструмента.
 - Стандартный диапазон диаметров отверстий от 6,5 мм до 21,0 мм с шагом 0,5 мм.
 - Возможно применение различных материалов рабочего клина инструмента.
- Процесс работы инструмента происходит в четыре этапа (рис. 3).

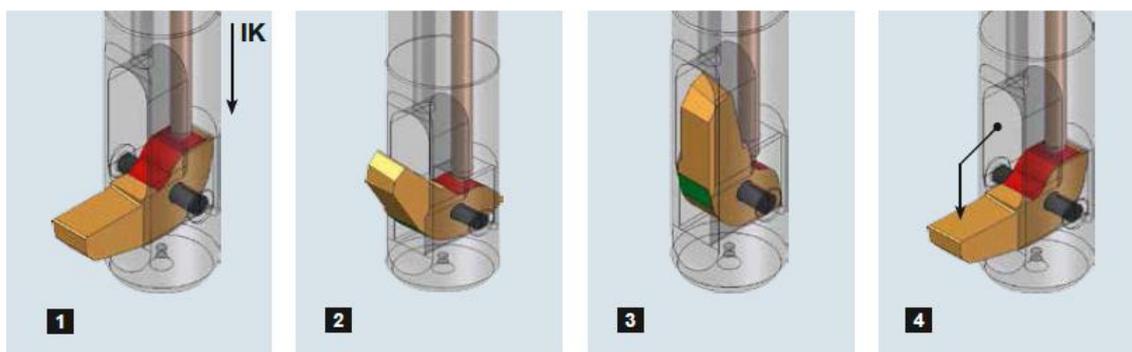


Рисунок 3 – Процесс работы инструмента

На первом этапе повышается давление охлаждающей жидкости в системе, что опускает вниз штифт, который в свою очередь начинает давить на рабочий клин инструмента.

На втором этапе происходит процесс убирания рабочего клина в паз благодаря давлению жидкости и ходу вниз штифта.

На третьем этапе рабочий клин полностью убирается в паз. Таким образом, инструмент может перемещаться в вертикальном направлении.

При уменьшении давления жидкости на четвертом этапе штифт поднимается вверх, снижая давление на площадки рабочего клина инструмента. Таким образом, рабочий клин инструмента приводится полностью в рабочее положение [4].

Компания Neule обладает также технологиями обработки различных отверстий, фасок и т.д.

Примеры деталей, обрабатываемых с применением данной технологии, приведены на рис. 4 и 5. Стрелками показаны обрабатываемые отверстия.



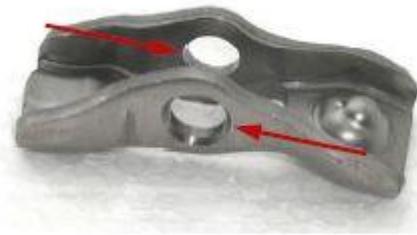
а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 4. Примеры деталей: а – вилка карданного шарнира; б – тормозной диск; в – суппорт; г – коромысло; д – шатун; е – корпус дифференциала



Рис. 5. Примеры деталей: а – водило; б – ступица колеса

Компания Profiroll является одним из лидеров в области технологий накатки резьбы, шлицевых и зубчатых профилей, а также раскатки колец подшипников.

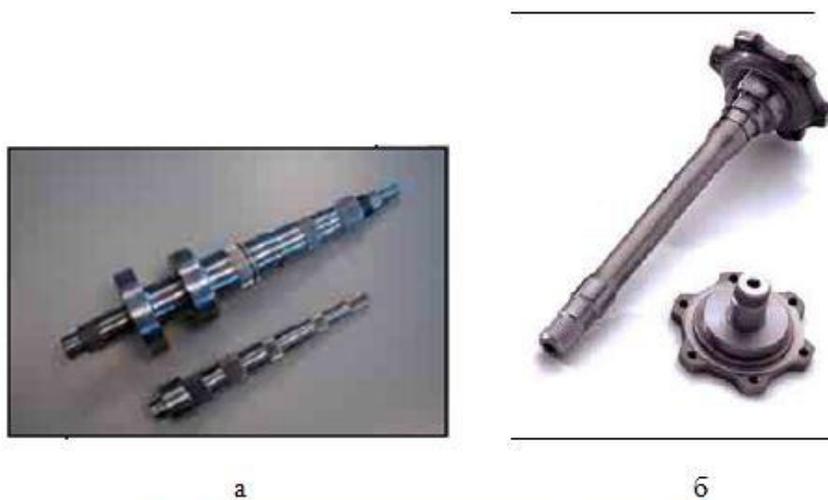


Рис. 6. Накатка профилей, фирма Profiroll [5] а – валы коробок передач; б - полуоси

Накатка резьбы и профилей является высокопроизводительным процессом холодной обработки металлов давлением без образования стружки. Технология формирования наружного профиля на симметричных телах вращения посредством обката профиля инструмента на деталь применяется для производства резьбы, шлицевого, зубчатого и червячного профилей [5].

В качестве преимуществ можно отметить следующее:

- снижение затрат основного машинного времени, по сравнению с процессами обработки с образованием стружки;
- экономия дорогостоящих материалов и отсутствие проблем ликвидации отходов стружки;
- высокая износостойкостью и долговечность за счет укрепления поверхностного слоя профиля;
- высокая стойкость на усталостный излом детали за счет целостности направления волокон материала.

Компания Profiroll обладает высокопроизводительными станками для накатки зубчатых зацеплений и профилей. Примеры деталей приведены на рис. 6.

Раскатка колец – технология, при которой отсутствует стружка и нет потери материала. При этом происходит укрепление поверхностного слоя металла, технология позволяет получать детали прецизионной точности с высоким качеством поверхности.



Рис. 7. Образцы заготовок и готовых колец, фирма Profiroll [5]

Принцип работы заключается в следующем: заготовка приводится во вращение приводным накатным роликом, формирующим наружный профиль. Одновременно свободно вращающийся внутренний инструмент – раскатчик поднимается вверх за счет перемещения

вверх опорных роликов и формирует внутренний профиль кольца. Для всей серии автоматов для раскатки колец характерна симметричная основная конструкция с вертикальным расположением узлов друг над другом, обеспечивающим экономию рабочего места. Все автоматы оснащены ЧПУ (CNC/AC) управлением и имеют интегрированную поддержку пользователя. Хранение параметров данных раскатки в базе данных обеспечивает быструю перенастройку и качественные результаты раскатки.

Производственная программа накатных инструментов Profiroll (накатных плашек), главным образом, состоит из следующих основных групп:

1. Круглые ролики.
2. Плоские плашки.
3. Накатные гребенки.

Сравнение данных методов накатки профилей и т.д. представлено на рис. 8.

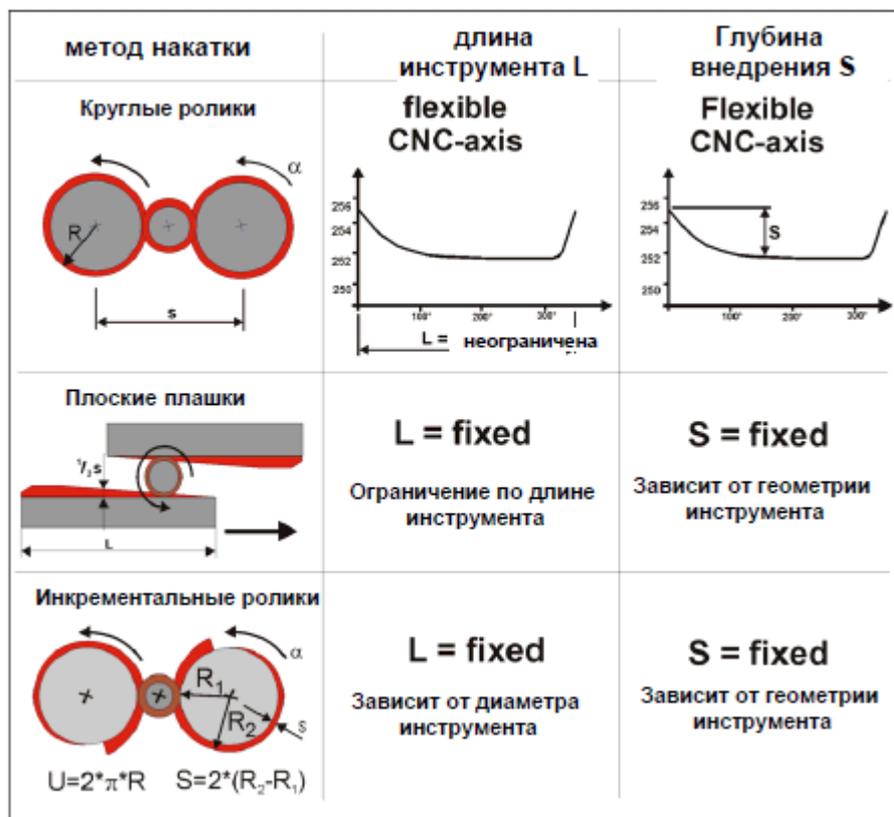


Рис. 8. Сравнение методов накатки, фирма Profiroll [5]

2. Технологические процессы получения заготовок

Выбор материала отливок наряду с оптимизацией технологического процесса литья играет значительную роль в снижении веса автокомпонентов. Все это положительно сказывается на снижении расхода топлива.

Стоит отметить технологии литья, разрабатываемые компанией Georg Fisher Automotive. С помощью данных технологий возможно добиться снижения веса получаемых отливок при сохранении требуемых параметров.

Литые компоненты в значительной степени изготовлены из лома, как только они вырабатывают свой ресурс, они могут быть переработаны для дальнейшего использования.

Толщина стенки отливки может корректироваться в зависимости от требований, при этом все требования к геометрии могут быть подтверждены моделированием и необходимыми расчетами. Форма отливок оптимизируется, при этом снижение веса до 50% может быть достигнуто не только применением более легких сплавов, таких как алюминий или магний.

Практически любой литой компонент можно значительно облегчить. Снижение веса более 35% может быть достигнуто путем замены кованых деталей на значительно более легкие литые по новым технологиям. Снижение веса позволяет достичь снижения вредных выбросов CO₂.

Новые технологии компания Georg Fisher реализует в рамках, так называемого, бионического подхода. Суть бионического подхода состоит в том, что при этом отливки разработаны так, что лишний материал удаляется и остается там, где нужно, чтобы выполнить конструктивные требования. То есть бионика – метод оптимизации компонентов транспортных средств.

Наилучшим образом подходы бионики можно реализовать в технологии литья. На рис. 9 показан пример оптимизации формы поворотного кулака.



Рис. 9. Оптимизация формы поворотного кулака: а – первоначальная форма поворотного кулака, материал – чугун с шаровидным графитом (GJS) 400-15, вес 4,39 кг; б – вариант 1 оптимизации, материал – Sibo (GF) 700-10, вес 3,42 кг; в – вариант 2 оптимизации, материал - Sibo (GF) 700-10, вес 2,98 кг

Целью оптимизации является снижение веса детали. Таким образом, первоначальная форма отливки постепенно корректируется исходя из опыта проектировщика, а также методом последовательных приближений. Для этого лучше всего воспользоваться расчетом методом конечных элементов (МКЭ) [6]. Смоделировав требуемую деталь в программном комплексе МКЭ, задав материал, а также приложив к детали воспринимаемые ею нагрузки, можно оптимизировать конструкцию.

Литейный материал Sibodur, разработанный компанией Georg Fisher Automotive, позволяет создавать детали сложных форм и малой толщины, снизить вес конструкции, а также время производственного процесса. Этот материал представляет собой сплав чугуна с добавлением кремния и бора. По сравнению с обычным чугуном, Sibodur обладает лучшими свойствами по прочности на разрыв, большим пределом прочности при растяжении, а также большей усталостной прочностью [7].

Замена кованого рычага заднего колеса на литой, изготовленный по технологии Sibodur, позволила снизить вес на 20%. Данная технология успешно применяется в массовом производстве. Благодаря большим возможностям при разработке деталей с использованием данной технологии, возможны изменения в технологии сборки и сварки деталей конструкции. Примером детали, изготовленной из нового материала Sibodur, может служить поворотный кулак, представленный на рис. 10.



Рис. 10. Поворотный кулак, изготовленный из материала Sibodur компанией Georg Fisher Automotive по новым технологиям

Заключение

По результатам проведенных исследований были выявлены основные тенденции развития технологий обработки заготовок.

Одними из основных целей при совершенствовании технологий обработки заготовок являются сокращение технологической цепочки, сокращение количества требуемых для обработки станков, сокращение цикла обработки заготовок. Развитие обрабатывающих станков идет в направлении автоматизации циклов обработки заготовок. Также необходимо отметить применение специальных программных комплексов для проектирования и расчета параметров получаемых деталей, таких как зубчатые колеса.

Технологические процессы получения заготовок (например, литья) направлены главным образом на получение более оптимальной формы отливок, что дает возможность снизить их вес.

Результаты проведенного обзора и анализа основных тенденций развития технологий производства могут использоваться для выбора оптимального метода получения заготовок, а также способов обработки рабочих поверхностей деталей привода колес транспортных средств.

Работа выполнена в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана» при финансовой поддержке Российской Федерации и Минобрнауки.

Список литературы

1. Сайт компании IPSEN. Режим доступа: [Http://www.ipsen.de](http://www.ipsen.de) (дата обращения 11.03.2014).
2. Сайт компании Boehringер. Режим доступа: [Http://www.boehringер-stanki.ru](http://www.boehringер-stanki.ru). (дата обращения 11.03.2014).
3. Каталоги компании Sunnen. Режим доступа: <http://www.sunnen.ru/industries/gears/> (дата обращения 11.03.2014).
4. Каталоги компании Heule. Режим доступа: <http://www.heule.com> (дата обращения 11.03.2014).
5. Сайт ЗАО «Современная машиностроительная компания». Режим доступа: <http://www.smkom.ru> (дата обращения 11.03.2014).
6. Вдовин Д.С., Котиев Г.О. Топологическая оптимизация рычага подвески грузового автомобиля // Тракторы и сельхозмашины. 2014. №3. С. 20-23.
7. Automobil Konstruktion. November 2012. URL: http://www.gfau.com/content/dam/gfau/documents/Veroeffentlichungen/2012_11_Automobil%20Konstruktion.pdf (дата обращения 11.03.2014).