

ISSN 0135 — 3152

**ТРУДЫ
НАМИ**

1980

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ И АВТОМОТОРНЫЙ ИНСТИТУТ

НАМИ

ТРУДЫ

НАМИ

Выпуск 181

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

ОТДЕЛ НАУЧНОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Москва

1980

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Хлебников А. М. (председатель), **Лунев И. С.** (зам. председателя, отв. редактор), **Петрушов В. А.** (зам. председателя), **Сироткин З. Л.** (зам. председателя), **Черняйкин В. А.** (зам. председателя), **Григорьева Л. А.** (отв. секретарь).

Секция материаловедения и экономики

Вернер К. А., Ильин В. М., Курчман Б. С., Лахно Р. П., Пафнутьева В. К., Тамручи О. В.

РАБОТЫ НАМИ ПО РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ И ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Решениями XXV съезда КПСС перед отечественным автомобилестроением поставлены важные задачи увеличения выпуска подвижного состава, повышения его эффективности и качества.

Снижение материалоемкости и расхода проката черных металлов в производстве автомобилей является одним из путей решения этих задач. Данный путь позволяет изготовить из того же количества материалов большее количество автомобильной техники. Решение проблемы уменьшения металлоемкости автотранспортных средств значительно усложняется в связи с повышением требований к динамическим качествам, безопасности, комфортабельности и надежности, что вызывает необходимость увеличивать массу отдельных конструкций и вводить ряд новых деталей.

Вместе с тем увеличение массы автотранспортного средства, связанное с повышением надежности и обеспечением равнопрочности, фактически приводит к уменьшению общего расхода материалов, и в первую очередь проката черных металлов, в производстве автомобильной техники благодаря сокращению выпуска запасных частей.

Известно, что уменьшение материалоемкости выпускаемой ныне в стране продукции всего на 1% равносильно увеличению национального дохода примерно на 5 млрд. руб.

Таким образом, снижение материалоемкости, особенно расхода металлопроката,— это проблема большой важности, которая должна решаться всесторонне и комплексно.

Заводы и институты автомобильной промышленности разработали планы мероприятий, обеспечивающие выполнение заданий по экономии проката в X пятилетке, и проводят комплексные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по совершенствованию конструкций автомобильной техники и расширению

применения низколегированных сталей, сталей, получаемых непрерывной разливкой без последующей прокатки, высокопрочных чугунов, фасонных профилей, алюминиевых литейных и деформируемых сплавов, полимерных и других прогрессивных материалов, а также сварных конструкций. Применение низколегированных сталей повышенной прочности для лонжеронов и поперечин рам грузовых автомобилей позволяет за счет уменьшения толщины лонжерона существенно снизить массу рамы и получить значительную экономию стального проката. Например, применение низколегированной стали с пределом текучести не менее 50 кг/мм² для лонжеронов рамы автомобилей грузоподъемностью 5—7 тс позволит уменьшить толщину лонжерона на 5% и получить снижение массы рамы на 10—15 кг, а толщину лонжерона автомобилей грузоподъемностью 8—10 тс уменьшить на 10—13% и получить снижение массы рамы на 50—60 кг. Экономия проката при этом составит около 6 тыс. т в год. Применение низколегированной стали взамен углеродистой с одновременным уменьшением на 10% толщины лонжерона рамы автомобилей грузоподъемностью 2,5—4 тс позволит снизить массу рамы на 13 кг и получить экономию 4 тыс. т стального проката. Использование термоупрочненного проката или термической обработки лонжеронов автомобилей большой грузоподъемности позволит обеспечить срок службы рамы без ремонта до списания автомобиля (300—400 тыс. км пробега).

Одним из резервов уменьшения массы и экономии металла является применение прогрессивных видов проката и гнутых профилей. Так, например, повышение точности колесного проката и применение экономичных профилей деталей колес позволят снизить массу и расход проката большинства типов колес грузовых автомобилей на 3—5%.

Внедрение новых прогрессивных видов проката в производство рессор также является средством снижения массы автомобилей. Введение на автомобилях грузоподъемностью 6 тс задних рессор Т-образного профиля дало снижение массы на 12 кг на один автомобиль.

За последнее время в конструкциях автомобилей находят применение малолистовые рессоры, изготовленные из проката переменного профиля.

Применение малолистовых рессор перспективных конструкций позволит уменьшить примерно на 100 кг массу одного автомобиля грузоподъемностью 8 т. Потребность автомобильной промышленности в прогрессивных видах рессорного проката составляет более 50 тыс. т. Объем применения низколегированных сталей, прогрессивных видов проката и гнутых профилей непрерывно увеличивается. Так, в 1990 г. объем применения низколегированных сталей достигнет 30% от общего потребления автомобилестроением стального проката.

НАМИ совместно с ЗИЛ, АЗЛК, ЦНИИЧМ, заводом «Сибэлектросталь» и НПО «Тулачермет» провели комплекс работ по изу-

чению возможности применения стали непрерывной разливки для коленчатых валов, вилки кардана, чашки дифференциала и других деталей. По результатам испытаний рекомендованы к внедрению коленчатые валы и чашка дифференциала из стали 45 непрерывной разливки (литой заготовки). Это позволяет экономить 6,5 тыс. т стального проката в год. В настоящее время автомобильные заводы проводят испытания более широкой номенклатуры деталей, изготовленных из заготовок сталей, полученных на установках непрерывной разливки, что позволит экономить более 60 тыс. т проката.

Расширение применения стали непрерывной разливки позволит не только сократить расход стального проката, но и увеличить примерно на 20% производство металла для нужд народного хозяйства.

Расширение применения высокопрочных чугунов для отливки коленчатых и распределительных валов, шатунов, различных корпусных деталей автомобилей и двигателей — это большие резервы для снижения металлоемкости деталей и экономии стального проката.

Институтами и автомобильными заводами проводятся работы по применению высокопрочного чугуна для отливки шатунов двигателей легковых автомобилей, головок блока цилиндров дизельных двигателей, шестерен и других деталей. Полученные результаты показывают, что применение литых чугунных шатунов взамен стальных для двигателей легковых автомобилей позволяет сократить расход проката на 4,5 тыс. т в год, применение высокопрочного чугуна для корпусных деталей позволяет на 20—25% снизить массу деталей.

НАМИ и заводы отрасли совместно с рядом металлургических заводов проводят комплекс работ по расширению применения алюминиевых деформируемых сплавов в конструкции автомобилей.

В настоящее время изготовлены и проходят испытания опытные образцы бортовых и самосвальных автомобилей с кузовами из алюминиевых деформируемых сплавов. Применение алюминиевых деформируемых сплавов позволило снизить массу самосвалов на 300—500 кг. Это обеспечивает соответствующее повышение грузоподъемности автомобилей. Снижение массы бортовых автомобилей составило только 100 кг. Последнее объясняется тем, что заводы, производящие алюминиевый прокат, не имеют достаточного опыта изготовления профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов сложной конфигурации с толщиной стенок менее 2,5 мм и шириной до 600 мм, что обеспечивает уменьшение массы бортовых автомобилей на 200—250 кг. Учитывая, что стоимость листового алюминия превосходит стоимость стали в шесть раз, а стоимость алюминиевых профилей — в десять раз, технико-экономическая целесообразность применения алюминиевых конструкций возможна лишь при уменьшенной массе заменяемых деталей не менее чем на 30%.

Расчеты показывают, что, например, использование алюминиевого проката для полуприцепа грузоподъемностью 13,5 тс позволяет уменьшить собственную массу и увеличить грузоподъемность на 0,5 т. Экономия в народном хозяйстве за 5 лет эксплуатации полуприцепов при годовом их выпуске 20 тыс. шт. составит 11 млн. руб.

В текущем пятилетии будут закончены всесторонние испытания автомобильной техники с широким использованием алюминиевых сплавов. При положительных результатах испытаний потребность автомобильной промышленности в алюминиевом прокате в ближайшие 5—8 лет может возрасти более чем в четыре раза.

Многого можно достичь в снижении массы автомобильных конструкций и высвобождении стального проката за счет применения крупногабаритных панелей из препрегов (стеклопластиков-полуфабрикатов).

Препреги, разработанные в содружестве двух институтов — НАМИ и ВНИИСС, отвечают требованиям массового производства и имеют высокие служебные свойства.

Заводы автомобильной промышленности совместно с НАМИ проводят разработку принципиально новых конструкций крупногабаритных деталей из препрегов для автомобилей КамАЗ, ЗИЛ, КАЗ, ЕрАЗ и др.

Договорами о научно-техническом содружестве между НАМИ, заводами отрасли, Ступинским и Калининским заводами стеклопластиков предусмотрено внедрение в текущем пятилетии десяти наименований крупногабаритных панелей, что позволит не только сэкономить более 4 тыс. т стального проката, но и повысить долговечность деталей и узлов.

Предприятия объединения «Союзстеклопластик» проделали большую работу по техническому перевооружению производства и внедрению новых материалов.

Однако более широкое производство пластмассовых деталей автомобилей сдерживается недостаточными мощностями, выделяемыми объединением «Союзстеклопластик» для заводов автомобильной промышленности.

Таким образом, снижение металлоемкости конструкций и экономия стального проката требуют общих усилий конструкторов, металлургов и химиков.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА РЕССОРНОГО ПРОКАТА И ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛИСТОВЫХ РЕССОР

В настоящее время на изготовление автомобильных листовых рессор расходуется более 10% проката, потребляемого в отрасли, и около 0,6% проката, производимого в стране. При этом около 50% рессорного проката используется для изготовления рессор и их деталей, поставляемых в запасные части. Поэтому проблема сокращения расхода рессорного проката за счет снижения металлоемкости рессор и повышения их долговечности имеет весьма важное, не только отраслевое, но и народнохозяйственное значение.

Решение данной проблемы возможно только на базе комплексного системного подхода, сущность которого заключается в наиболее эффективном одновременном и параллельном использовании всех возможностей и резервов для достижения конечной цели — сокращения расхода рессорного проката в народном хозяйстве страны. В настоящее время трудами советских ученых и специалистов отрасли, в том числе и специалистов НАМИ, выявлены и раскрыты основные возможности и резервы сокращения расхода рессорного проката, к числу которых, в первую очередь, следует отнести следующие.

1. **Применение рессор с экономичными несимметричными профилями рессорного проката.** Применение таких профилей позволяет уменьшить массу рессор на 7—13% при сохранении их долговечности. Предложения по применению несимметричных профилей рессорного проката разработаны специалистами НАМИ совместно с НИИТавтопромом, ЗИЛ, ГАЗ и другими предприятиями отрасли и были приняты к реализации еще в VIII пятилетке. В настоящее время завершается перевод всех рессор на несимметричные профили рессорного проката и за счет этого будет достигнута ежегодная экономия рессорного проката в объеме приблизительно 70 тыс. т

(из них 30 тыс. т в X пятилетке). Следует отметить, что основные резервы экономии рессорного проката за счет применения несимметричных профилей подходят к концу и последние тысячи тонн экономии будут достигаться с большим трудом, так как сопряжены с решением наиболее трудной задачи — перевода на несимметричные профили проката коренных листов рессор.

2. Применение малолистовых конструкций рессор с переменным продольным и поперечным профилем проката. В настоящее время такие рессоры получают все более широкое распространение на зарубежных объектах автомобильного подвижного состава. Применение малолистовых рессор позволяет уменьшить массу рессор на 30—50% при одновременном повышении их долговечности в 1,3—1,5 раза и более. Сотрудники НАМИ совместно со специалистами ведущих предприятий отрасли в настоящее время разработали предложения по освоению производства опытно-промышленных партий малолистовых рессор (в первую очередь, подрессорников задних подвесок, затем рессор задних балансирных подвесок и лишь после этого всех остальных типов рессор одноопорных подвесок). При этом предусматривается создание на Синельниковском рессорном заводе специального участка для изготовления опытно-промышленных партий малолистовых рессор. В настоящее время эти предложения приняты к реализации. Осуществление намеченной программы внедрения малолистовых конструкций рессор может обеспечить в 1985 г. ежегодную экономию рессорного проката не менее 30 тыс. т, а в 1990 г. размер экономии может возрасти до 100 тыс. т.

3. Повышение долговечности рессор до оптимального уровня. Увеличение долговечности рессор, если она недостаточна, является наиболее эффективным средством сокращения расхода рессорного проката. Следует иметь в виду, что долговечность рессор является величиной регулируемой и ее повышение особых технических трудностей не вызывает. В практике отечественного автомобилестроения в настоящее время широко распространен способ изменения долговечности рессор за счет изменения числа их листов. Если долговечность рессор недостаточна (что обычно выявляется на междуведомственных приемочных испытаниях), то при доработке подвески обычно добавляют в рессоры один-два листа и благодаря этому обеспечивается значительное (в 1,5 раза и более) повышение их долговечности. При этом, несмотря на некоторое (на 5—10%) увеличение металлоемкости рессоры, достигается весьма ощутимый эффект по экономии рессорного проката в народном хозяйстве вследствие значительного сокращения поставок рессор в запасные части. И наоборот, если в погоне за снижением массы автомобиля и уменьшением металлоемкости рессор из пакета рессорных листов будут недостаточно обоснованно изъяты один-два листа, то потребуется значительно увеличить поставки таких «облегченных» рессор в запасные части, что в конечном итоге приведет к значительному перерасходу рессорного проката.

Поэтому в работе по сокращению расхода рессорного проката первостепенное значение должно быть обращено на повышение эксплуатационной долговечности рессор до оптимальных, достаточно высоких пределов и лишь после этого можно принимать меры по снижению их металлоемкости без ухудшения долговечности. Какой же уровень долговечности автомобильных рессор следует считать оптимальным?

По нашему мнению, оптимальному уровню долговечности рессор должны соответствовать их средние ресурсные наработки в условиях I и II категорий эксплуатации, равные соответственно амортизационному пробегу и нормативному пробегу автомобиля до первого капитального ремонта. На автомобилях, предназначенных для систематической работы в условиях III категории эксплуатации, должны применяться усиленные (с увеличенным числом листов) рессоры, средняя ресурсная наработка которых должна быть не менее нормативного пробега автомобиля до первого капитального ремонта в условиях III категории эксплуатации. Некоторое ужесточение подвески на этих автомобилях должно компенсироваться совершенствованием виброзащитных качеств систем вторичного поддрессоривания кабин и сидений водителя.

Сопоставляя ресурсные наработки современных рессор отечественных автомобилей и автобусов с вышеуказанными оптимальными значениями, можно констатировать недостаточный уровень долговечности выпускаемых рессор. Поэтому необходимо принять меры по увеличению ресурса рессор, в первую очередь, за счет реализации мероприятий, обеспечивающих повышение долговечности рессор без увеличения их металлоемкости. К таким мероприятиям можно отнести следующие.

а). Повышение долговечности рессор за счет облегчения их режимов работы в составе подвески. Весьма эффективным средством облегчения режимов работы рессор является параллельное включение амортизаторов. Применение амортизаторов в рессорных подвесках увеличивает ресурс рессор в 1,7—2,0 раза и более. В то же время собственная масса амортизатора обычно не превышает 5—10% массы рессор. Поэтому применение амортизаторов в рессорных подвесках следует считать весьма полезным и эффективным. В последние годы в рессорных подвесках все шире применяются дополнительные резиносинтетические упругие элементы, предохраняющие рессоры от чрезмерных перегрузок. Так, применение дополнительных полых резиновых буферов в передних подвесках автомобилей КамАЗ по рекомендации НАМИ обеспечило существенное (в 1,3—1,5 раза) повышение долговечности передних рессор при одновременном уменьшении (на 5—10%) их металлоемкости.

б). Повышение долговечности рессор за счет уменьшения вредного влияния межлистового трения. Межлистовое трение значительно (в 1,5 раза и более) снижает усталостную долговечность рессор. Поэтому в последние годы проводятся интенсивные исследования по выявлению возможностей уменьшения вредных послед-

ствий межлистового трения. Следует обратить внимание на то, что среди специалистов отрасли все еще бытуют ошибочные взгляды о полезности межлистового трения для демпфирования колебаний грузовых автомобилей, позволяющего отказаться от применения амортизаторов в рессорных подвесках. Выше указывалось, что при экономии на амортизаторах в 1,7—2,0 раза сокращается долговечность рессор и получается ничем не оправданный перерасход рессорного проката. Демпфирование колебаний грузовых автомобилей, автобусов, прицепов и полуприцепов только за счет истирания рессорного металла в настоящее время при остром дефиците металла является недопустимым техническим анахронизмом, с которым необходимо решительно покончить.

Для уменьшения межлистового трения весьма перспективными в настоящее время считаются такие мероприятия, как применение межлистовых синтетических или полимерных прокладок, увеличение площади контакта между листами (за счет ужесточения допусков на размеры сечений листов), улучшение качества поверхностной обработки листов рессор и др. Специалисты НАМИ разработали ряд рекомендаций по реализации подобных мероприятий в конструкциях рессор отечественных автомобилей, реализация которых позволяет при сравнительно небольших затратах повысить долговечность рессор в 1,5 раза и более.

в). Повышение долговечности рессор за счет укрепления технологической дисциплины и улучшения качества рессорного производства.

Автомобильные рессоры работают при весьма тяжелых режимах динамического нагружения и поэтому должны изготавливаться весьма качественно. Они очень чувствительны к любым, даже незначительным нарушениям технологии их изготовления и термической обработки. Известно, что долговечность рессор, изготовляемых кустарными способами на ремонтных заводах без соблюдения всех требований технологии и термической обработки, в 1,5—2,0 раза ниже, чем рессор заводского изготовления. **Ввиду этого в настоящее время поставлена задача прекращения такого кустарного изготовления рессор и сосредоточения всего производства их на специальных заводах.** Повышению качества изготовления рессор на специальных рессорных заводах будет способствовать внедрение систематических контрольных ресурсных стендовых испытаний на усталостную долговечность, проводимых по отраслевой инструкции И 37.001.013—73, разработанной специалистами НАМИ.

Улучшение качества изготовления рессор на рессорных заводах в значительной мере может быть достигнуто также за счет повышения серийности их изготовления, то есть повышения уровня унификации конструкций рессор. В настоящее время для изготовления рессор применяется более 60 профилиразмеров рессорного проката в конструкциях 96 базовых типов рессор. Специалистами НАМИ и Горьковского ПКТИАвтопрома разработаны рекомендации по уменьшению числа профилиразмеров рессорного проката до 28, ко-

торые приняты к реализации. Разработанный НАМИ комплекс отраслевых стандартов по унификации конструкций элементов рессор создает необходимые предпосылки для формирования единого отраслевого типоразмерного ряда автомобильных листовых рессор.

Проведенные в НАМИ всесторонние исследования автомобильных листовых рессор позволили выявить дополнительные резервы и возможности повышения их долговечности и снижения металлоемкости за счет совершенствования технологии изготовления и термической обработки. Так, улучшение качества изготовления рессорного проката на металлургических заводах в направлении устранения поверхностного обезуглероженного слоя и ужесточения допусков на размеры и форму профиля, гарантирующее увеличение площади контакта между листами, позволяет значительно (в 1,5 раза и более) повысить долговечность рессор. В процессе изготовления рессор особые меры предосторожности следует применять по защите заготовок листов рессор от внешних повреждений при их межоперационных транспортировках и перегрузках. Весьма эффективным средством повышения усталостной долговечности рессор является совершенствование поверхностной обработки листов, в частности, совершенствование процесса дробенаклепа. При реализации всех указанных выше возможностей и резервов по улучшению термической обработки и технологии изготовления рессор на всех металлургических и рессорных заводах можно будет получить в XI пятилетке дополнительную экономию рессорного проката в объеме не менее 50 тыс. т. В решении этой задачи ведущую роль призван сыграть Челябинский КТИАМ как головной институт отрасли по рессорному производству.

4. Замена рессорных подвесок пневматическими и применение в рессорных подвесках дополнительных пневматических упругих элементов. Применение в рессорных подвесках дополнительных пневматических упругих элементов позволяет уменьшить массу параллельно включенных рессор на 30—40%. Специалисты НАМИ совместно с предприятиями отрасли создали конструкции пневморессорных подвесок для автобусов ЛиАЗ и троллейбусов ЗИУ. Такие типы подвесок рекомендованы также для применения и на перспективных автобусах ЛАЗ. Применение «чисто» пневматических подвесок с резинокордными оболочками и с автономным направляющим устройством рычажного типа позволяет полностью исключить расход дефицитного рессорного проката.

5. Повышение технической культуры эксплуатации автотранспортных средств. Долговечность рессор значительно уменьшается при несвоевременном проведении и некачественном исполнении всех операций по техническому уходу и обслуживанию автомобилей. Коррозия и загрязнение трущихся поверхностей листов рессор значительно ускоряют процесс формирования усталостных микротрещин. Несвоевременная подтяжка стремянок, особенно в начальный обкаточный период, резко (в два-три раза) снижает усталостную долговечность рессор. Рессоры весьма чувствительны к перегруз-

кам, возникающим при перевозке в кузове грузов, превышающих номинальную грузоподъемность автомобиля. Однако во время эксплуатации грузовых автомобилей (особенно в сельской местности при уборке урожая) очень часто это условие не выдерживается и от таких нарушений правил их эксплуатации в наибольшей степени страдают рессоры. Во всех автохозяйствах и на ремонтных заводах до настоящего времени не налажен должный контроль рабочих диаграмм амортизаторов. Поэтому автомобили весьма часто работают с неисправными амортизаторами, что приводит к преждевременному выходу рессор из строя.

Существенные недостатки еще имеются и в обеспечении автохозяйств рессорными запчастями. Установленное в действующем Положении о техническом обслуживании и ремонте автомобильного подвижного состава соотношение эквивалентных пробегов автомобильного подвижного состава в условиях I, II и III категорий эксплуатации (1:0,8:0,6) существенно отличается от фактического соотношения ресурсных наработок рессор для таких же условий (1:0,6:0,3), что приводит к нерациональному расходованию ресурсных запасных частей.

Так, автохозяйства, работающие преимущественно в условиях I категории эксплуатации, получают неоправданно большие (по нормам расхода, установленным для II категории условий эксплуатации и пересчитанным для I категории условий эксплуатации с использованием коэффициента 0,8) партии рессорных запасных частей и поэтому, не считая их дефицитными, не ведут должной борьбы за экономию рессорного металла. В таких автохозяйствах часто наблюдаются случаи замены рессор при поломках одного-двух листов. Такому отношению к расходу рессорного металла способствует также отсутствие в настоящее время эффективной системы стимулирования экономии рессорных запасных частей в автохозяйствах. Так, если за экономию горюче-смазочных материалов водители получают ощутимое вознаграждение, то за экономию рессорных запчастей никаких поощрений водителям и ремонтникам нет. Это и порождает небрежное отношение к расходу рессорных запасных частей.

Автохозяйства, эксплуатирующие автомобили в тяжелых условиях III категории эксплуатации, из-за неправильной корректировки ими норм расхода рессорных запасных частей испытывают большие трудности и вынуждены зачастую для покрытия дефицита в них организовывать на своей базе дополнительное кустарное изготовление рессор. Используемый при этом рессорный прокат расходуется весьма неэффективно, так как долговечность таких рессор в два-три раза ниже, чем у рессор заводского производства.

В настоящее время специалистами НАМИ подготовлены предложения, реализация которых позволит устранить отмеченные недостатки. В заключение следует отметить, что реализация указанной комплексной программы снижения металлоемкости и повышения

долговечности рессор требует развития экспериментальной базы по контролю ресурса рессор на всех стадиях их цикла: от начала проектирования и испытаний опытных образцов до контроля долговечности рессор после капитального ремонта автомобиля. Помимо стендов для ресурсных испытаний рессор, предприятия отрасли испытывают большую нужду в специальных стендах с электрогидравлическими нагрузжателями. Проект такого стенда разработан Горьковским ПКТИАвтопромом. В ближайшее время надо решить вопрос о централизованном изготовлении таких стендов для оснащения ими ведущих институтов и автомобильных заводов отрасли.

Необходимо также решить задачу ускорения дорожных ресурсных испытаний рессор на Автополигоне НАМИ. Ввиду большой потребности и больших объемов таких испытаний необходимо решительно переходить к форсированным методам их проведения на Автополигоне с широким использованием кольцевых испытательных треков с автоматическими системами вождения автомобилей или стендов карусельного типа с кольцевыми треками и прицепными испытательными установками с электромоторколесами. В настоящее время специалисты НАМИ разрабатывают для полигона проекты ТЗ на создание таких испытательных сооружений.

Таким образом, специалисты НАМИ совместно с предприятиями отрасли проводят широкие комплексные работы по выявлению и практическому использованию всех имеющихся резервов и возможностей по снижению металлоемкости рессор и повышению их долговечности для всемерного сокращения расходов рессорного проката. При использовании уже выявленных вышеперечисленных резервов представляется возможным в 1985 г. получить экономию рессорного проката в объеме не менее 100 тыс. т.

С. Ф. Безверхий, П. Р. Перерво, Н. А. Мищенко

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ АВТОМОБИЛЕЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОРРОЗИИ

За X пятилетку объем производства автомобилей увеличится почти в полтора раза. Только в 1980 г. будет выпущено более 2 млн. автомобилей, в том числе свыше 1 млн. легковых.

Такое количество автомобилей является крупным национальным богатством. Сохранение этого богатства, увеличение сроков эксплуатации автомобилей является важной государственной задачей и требует особого внимания со стороны науки, производства и эксплуатации.

При хранении и эксплуатации металлические изделия и машины, в том числе автомобили, подвергаются не только механическим нагрузкам, но и коррозии, вызывающей их разрушение. В результате ежегодно теряется от 1 до 1,5% всего металла, накопленного и эксплуатируемого человечеством. Достаточно сказать, что только в нашей стране коррозия «съедает» ежегодно 20—25 млн. т металла. Причем это не просто металл, а готовые изделия, стоимость которых гораздо выше [2].

Эти данные показывают, что защита автомобилей от воздействия коррозии имеет большое народнохозяйственное значение.

Продлить срок службы автомобилей, особенно легковых и автобусов, можно путем повышения коррозионной стойкости кузовов, которые подвергаются коррозии в первую очередь.

Так, при обобщении эксплуатационных данных по коррозионной стойкости кузовов легковых автомобилей со сроком эксплуатации 3—4,5 года отмечено, что прежде всего коррозионному повреждению подвергаются крылья, двери, пороги, подкрыльники, днище и узлы нижнего пояса. По литературным данным [1], в кузовах автобусов наибольшему коррозионному разрушению подвергаются детали нижнего пояса обшивки, облицовочные панели и детали каркаса в области надколесных арок, отдельные элементы основания.

При капитальном ремонте требуется замена вышеперечисленных узлов и деталей, элементов каркаса основания в местах крепления кронштейнов рессор и двигателя.

Для защиты от коррозии широко применяют различные лакокрасочные материалы и специальные антикоррозионные составы. При этом появляется потребность в своевременной и правильной оценке эффективности защитных свойств применяемых материалов и конструкторско-технологических разработок, для чего необходимы средства и методы ускоренной оценки коррозионной стойкости автомобиля.

Из существующих методов ускоренных испытаний наибольшее приближение к эксплуатационным условиям дают комбинированные методы коррозионных испытаний, предусматривающие чередование выдержки автомобиля в специальных камерах, позволяющих воспроизвести искусственную атмосферу (повышенная температура, влажность и содержание агрессивного компонента), и пробега по дорогам с различными типами покрытий, оказывающих механическое воздействие на защитные пленки днища, боковин и других элементов кузова автомобиля.

Автополигоном НАМИ на основе изучения отечественного и зарубежного опыта осуществлено строительство коррозионной камеры с установленной мощностью оборудования 155 кВт, объемом 300 м³, полезной площадью 60 м², которая позволяет одновременно проводить испытания пяти-шести легковых автомобилей или одного автобуса класса ЛиАЗ.

Разработка методики форсированных испытаний кузовов автомобильного подвижного состава в коррозионной камере осуществлялась исходя из следующих принципиальных положений:

— кузова автомобилей подвержены в основном воздействию атмосферной коррозии при повышенной влажности, имеющей электрохимический механизм протекания процесса;

— основными факторами, определяющими скорость атмосферной коррозии кузовов автомобилей, являются степень и продолжительность увлажнения поверхностей кузовов, наличие агрессивных примесей воздуха и покрытий дорог (особенно в зимний период растворов солей, предохраняющих от обледенения дорожных покрытий), механические повреждения защитных покрытий кузовов под воздействием песка, щебня и др.

На основании вышеизложенного проведены исследования по выбору оптимального режима работы коррозионной камеры; по уточнению влияния температуры, влажности воздуха и содержания агрессивного компонента на скорость распространения коррозии; по изучению интенсивности возникновения очагов коррозии при движении автомобиля по грунтовой запыленной, щебеночной, булыжной и другим спецдорогам полигона.

Результаты проведенных исследований нашли свое отражение в разработанной методике форсированных полигонных испытаний

кузовов автомобилей на коррозионную стойкость, которая предусматривает:

— подготовку кузова к испытаниям, включая проверку качества защитных покрытий путем внешнего осмотра; измерение толщины лакокрасочных покрытий в нескольких выбранных точках части кузова; нанесение искусственных очагов коррозии (в виде буквы «Т») в нижней и средней частях боковин кузова штихелем с заостренным концом до 0,05—0,1 мм и ограничителем, обеспечивающим легкое соприкосновение штихеля с поверхностью основного металла;

— проведение испытаний ежедневно циклами, состоящими из выдержки испытываемого автомобиля в течение 6 ч в коррозионной камере, насыщенной соевым туманом 3,5±0,5%-ного раствора NaCl при температуре 37±3°C и влажности 95±5%; проезда автомобиля через ванну, заполненную 5%-ным раствором NaCl на глубину примерно 100 мм; проездов по участкам пыльной грунтовой дороги (62 км), щебеночной дороги (32 км), дороги с ровным булыжным покрытием (8 км); заключительного проезда через ванну с 5%-ным раствором NaCl. Весь объем испытаний состоит из 40 циклов.

Проведены методические (исследовательские) испытания пяти автомобилей и автобусов по уточнению режимов камерных и дорожных испытаний. По доработанной методике зачетным испытаниям были подвергнуты 17 автомобилей Горьковского, Волжского, Ульяновского, Запорожского и других заводов. Опыт проведения испытаний автомобилей в коррозионной камере по разработанной методике подтвердил возможность быстрой оценки эффективности конструктивных и технологических мероприятий, направленных на защиту автомобилей от воздействия коррозии. На основании проведенных испытаний совместно с заводами разработаны мероприятия, повышающие коррозионную стойкость кузовов автомобилей.

Вместе с тем испытания комплектных автомобилей в коррозионной камере имеют ряд специфических особенностей, отличающих их от эксплуатационных испытаний.

В частности, уже на стадии выбора образцов для испытаний следует обращать внимание на цвет их лакокрасочного покрытия, которое должно быть по возможности светлым, контрастным с цветом пораженного коррозией металла. Это существенно облегчит проведение визуального наблюдения за вновь появляющимися очагами коррозии в процессе испытаний, скоростью их распространения и фотографирование.

В процессе приемки образцов следует проводить предварительную оценку склонности к коррозионной повреждаемости принятых конструктивных решений. Должны быть отмечены закрытые, плохо вентилируемые полости элементов кузова, образующие застойные зоны; наличие или отсутствие в таких зонах дренажных отверстий; опасность скопления в них агрессивных средств и поражае-

мая ими при этом площадь; наличие вредных контактов однородных и неоднородных конструктивных элементов; имеющиеся зазоры в местах контактной сварки; качество защитных покрытий труднодоступных участков и т. д.

В процессе проведения испытаний недопустимы длительные перерывы, обуславливаемые необходимостью проведения ремонта, отсутствием запчастей, отпусками или болезнью обслуживающего персонала и другими причинами, так как это неизбежно скажется на результатах испытаний.

Через каждые десять циклов следует проводить техническую экспертизу объектов испытаний с фотографированием и фиксацией в специальном протоколе вновь появившихся очагов коррозии, мест скопления агрессивной среды, замеров скорости распространения подпленочной коррозии (рис. 1); замечаний по работоспособности всех агрегатов и систем автомобиля.

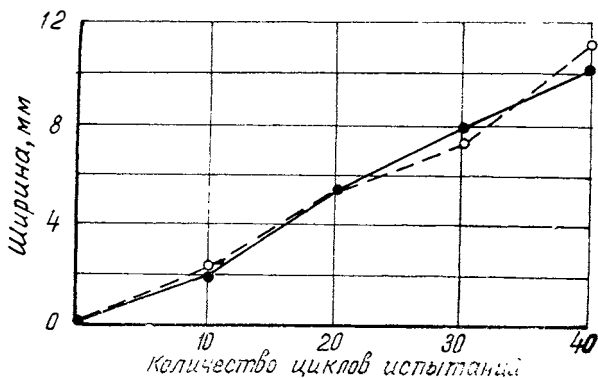


Рис. 1. Скорость распространения подпленочной коррозии на передних дверях легкового автомобиля

Дополнительно при технической экспертизе после окончания испытаний следует осуществлять:

— визуальные и, по возможности, инструментальную оценки степени изменения лакокрасочного покрытия (потери блеска, изменение цвета, грязеудержание, растрескивание, белесоватость, меление и т. д.);

— подсчет количества очагов коррозии, возникших в процессе испытаний;

— замер площади участков, пораженных коррозией;

— просмотр при помощи инструментальных методов закрытых полостей и визуальная оценка степени поражения их коррозией;

— вырезку тамплетов с искусственными очагами коррозии, подготовку их и оценку скорости распространения коррозии на глубину (рис. 2) и в ширину на специальном приборе с разрешающей способностью 0,25 мкм.

Доработанная в процессе проведения испытаний кузовов автомобилей методика форсированных полигонных испытаний на коррозионную стойкость позволяет за 85—90 дней оценить эффективность конструктивных и технологических мероприятий, направленных на защиту автомобилей от воздействия коррозии.

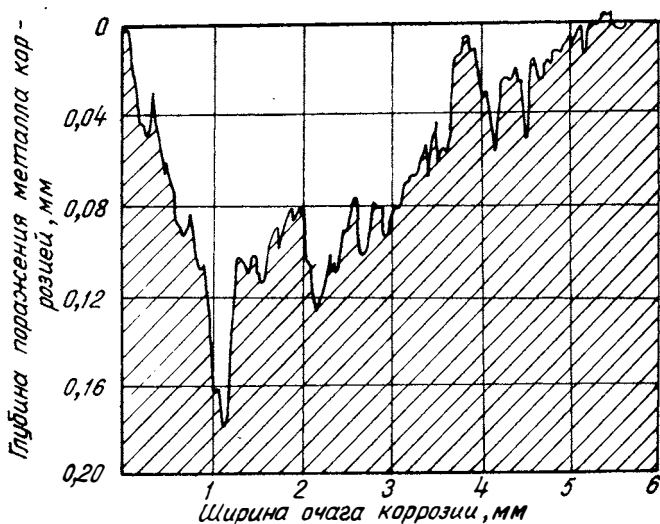


Рис. 2. Определение глубины поражения металла коррозией прибором с разрешающей способностью 0,25 мкм

Соответствующим образом обработанные и сопоставленные с эксплуатационными наблюдениями результаты технической экспертизы автомобилей, прошедших форсированные испытания, служат исходным материалом для оценки эффективности защиты автомобилей от воздействия коррозии и разработки обоснованных рекомендаций по ее улучшению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еремин Л. И. Антикоррозионная защита автомобилей. М., НИИ-автопром, 1976.
2. Колотыркин Я. В наступление на коррозию. «Социалистическая индустрия», 1977, 3 августа.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

Возможность использования температурных остаточных напряжений для повышения усталостной прочности деталей машин обсуждалась еще в середине 30-х годов. В работе [4] показано, что остаточные сжимающие напряжения, возникающие на поверхности цилиндрических образцов из стали типа 35 при их охлаждении с 600°C в холодной воде или в растворе поваренной соли, достигают 32—34 кгс/мм². Отмечено также, что эти напряжения позволяют повысить предел выносливости образцов, обработанных указанным способом.

Позже было замечено, что при наличии концентраторов напряжений эффективность упрочнения деталей остаточными напряжениями резко повышается. Так, например, при теоретическом коэффициенте концентрации напряжения, близком к 4, предел выносливости валов из стали 40ХН2МА диаметром 160 мм под влиянием температурных остаточных напряжений, создававшихся путем их охлаждения в воде с температуры отпуска, равной 600°C, увеличился в два раза — с 10,5 до 21 кгс/см² [3].

В настоящей работе изучалась зависимость эффективности упрочнения деталей машин температурными остаточными напряжениями от величины этих напряжений, их концентрации и механических свойств материала.

На основе полученных результатов предложены новые, более эффективные по сравнению с применявшимися для этой цели ранее способы термической обработки сталей и чугунов, в которых наведение остаточных напряжений сочетается с повышением механических свойств используемого материала.

Предварительные исследования проводились на гладких и ступенчатых консольных образцах диаметром 20 мм, испытывавшихся на изгиб при вращении. Образцы изготовлялись из прутков стали 45 диаметром 36 мм следующего состава: углерода 0,45%, марганца

0,73%, кремния 0,20%, серы 0,02%, фосфора 0,013%. Механические свойства стали после закалки и отпуска при различных температурах приведены в табл. 1. Термическая обработка проводилась на заготовках с припуском по 1 мм на сторону. Испытывались 32 серии образцов, отличавшихся по концентрации напряжений (гладкие и ступенчатые с тремя радиусами галтели) и по механическим свойствам, создававшимся путем закалки и отпуска при 700, 650, 600 и 500°C. Половина всех образцов охлаждалась с температуры отпуска на воздухе, вторая половина с целью создания температурных остаточных напряжений — в воде, имевшей температуру 20°. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 1

Механические свойства использованной стали 45, полученные после закалки и отпуска при различных температурах

| Свойство | Температура отпуска, °C | | | |
|--|-------------------------|------|------|------|
| | 500 | 600 | 650 | 700 |
| Временное сопротивление, кгс/мм ² | 99 | 82 | 78 | 73,5 |
| Предел текучести, кгс/мм ² | 90 | 76 | 70 | 65 |
| Удлинение, % | 12 | 19,5 | 20,5 | 21,5 |
| Относительное сужение, % | 56 | 59 | 61 | 62 |
| Твердость по Бриннелю, НВ | 297 | 243 | 219 | 194 |

Таблица 2

Результаты определения предела выносливости образцов из стали 45 диаметром 20 мм, кгс/мм²

| Радиус галтели, мм | Теоретический коэффициент концентрации напряжений | Температура отпуска, °C | | | |
|-------------------------------------|---|-------------------------|------|------|------|
| | | 500 | 600 | 650 | 700 |
| Охлаждение после отпуска на воздухе | | | | | |
| Гладкие | 1,0 | 45,5 | 38,0 | 35,5 | 33,5 |
| 4,5 | 1,4 | 34,0 | 28,0 | 26,0 | 25,0 |
| 1,3 | 2,2 | 24,0 | 20,0 | 18,0 | 16,5 |
| 0,3 | 4,0 | 16,0 | 14,0 | 13,5 | 13,0 |
| Охлаждение после отпуска в воде | | | | | |
| Гладкие | 1,0 | 46,5 | 40,0 | 38,0 | 35,0 |
| 4,5 | 1,4 | 34,5 | 33,0 | 30,0 | 33,0 |
| 1,3 | 2,2 | 27,0 | 25,0 | 30,0 | 33,0 |
| 0,3 | 4,0 | 17,0 | 25,0 | 31,0 | 31,0 |

На рис. 1 показана построенная на основе полученных результатов зависимость предела выносливости образцов, отпущенных при различных температурах, от величины α_0 при отсутствии l

и наличии 2 в них остаточных напряжений. В первом случае при температурах отпуска 500—650°C предел выносливости с ростом α_s до 4 монотонно снижался.

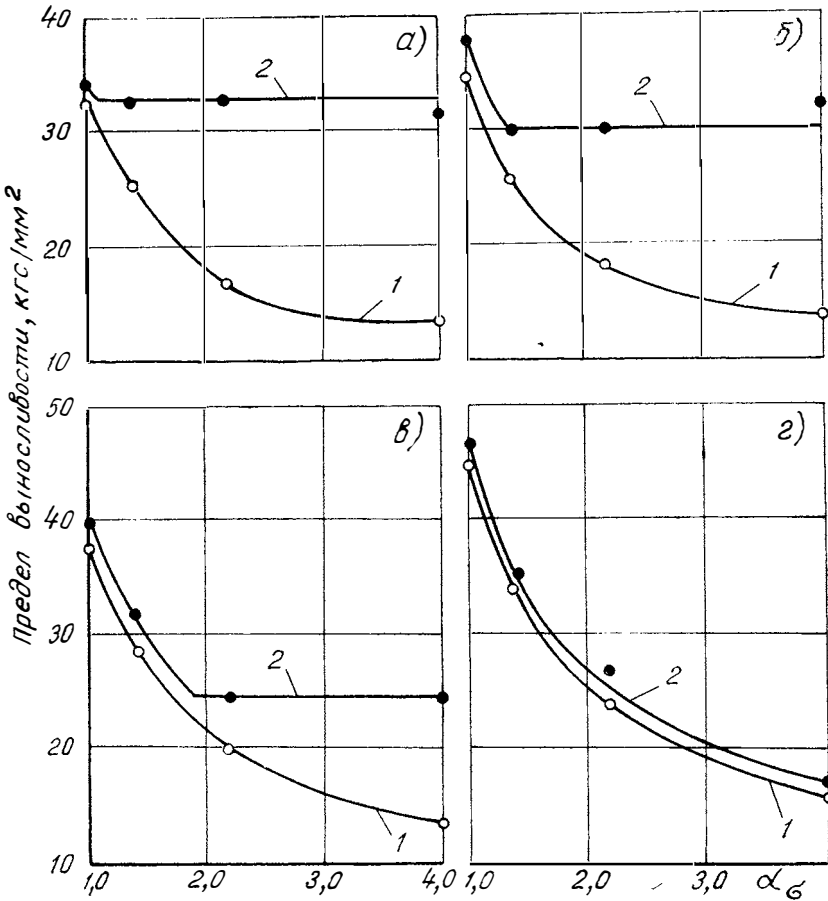


Рис. 1. Зависимость предела выносливости закаленных и отпущенных образцов из стали 45 от значения теоретического коэффициента концентрации напряжений при температуре отпуска 700°C (а), 650°C (б), 600°C (в) и 500°C (г). Охлаждение с температуры отпуска: 1 — на воздухе; 2 — в масле

Для температуры отпуска, равной 700°C, уменьшение предела выносливости таких образцов прекращалось при $\alpha_s \cong 4$. С понижением этой температуры и соответствующим повышением прочностных свойств стали значение α_s , при котором прекращается снижение предела выносливости образцов, возрастает.

Кривые 2, построенные для образцов, упрочненных остаточными напряжениями, состоят из двух различных по своему характеру ветвей: левой, характеризующейся снижением предела выносливости с ростом концентрации напряжений, и правой, для которой предел выносливости при этом остается практически постоянным.

Образцы, охлаждавшиеся в воде с 700°C , при всех трех концентраторах имели предел выносливости, близкий к 33 кгс/мм^2 и примерно равный выносливости гладких неупрочненных образцов. Левая наклонная ветвь кривой 2 при этом почти полностью отсутствовала. По мере понижения температуры, с которой образцы охлаждались в воде, снижалась величина создававшихся в них остаточных напряжений и соответственно уменьшалась величина пределов выносливости, описываемых правыми горизонтальными ветвями кривых 2. Пересечение рассматриваемых ветвей происходило при возрастающих значениях α_s . Для образцов, охлаждавшихся с 500°C , при $\alpha_s < 4$ правая ветвь кривой 2 отсутствовала.

В зависимости от величины α_s и уровня создаваемых остаточных напряжений или средних напряжений цикла разрушение образцов и деталей машин может контролироваться зарождением либо распространением усталостных трещин. В первом случае напряжения, вызывающие зарождение трещин, обеспечивают их распространение на глубину, достаточную для разрушения изделия, во втором для разрушения необходимы более высокие напряжения.

Напряжения, достаточные для зарождения трещин, но меньшие, чем предел выносливости, определяемый по разрушению, вызывают возникновение нераспространяющихся трещин в зоне концентратора. По наличию или отсутствию таких трещин в образцах, длительно нагружавшихся при напряжениях, близких к пределу выносливости, можно судить о том, чем контролируется их разрушение — распространением или зарождением трещин.

Изучение шлифов, вырезанных из зоны концентрации напряжений испытанных образцов, показало, что вне зависимости от наличия и величины остаточных напряжений в тех случаях, когда предел выносливости таких образцов уменьшается с ростом α_s , в них отсутствуют нераспространяющиеся трещины и, следовательно, их предел выносливости контролируется зарождением усталостных трещин. В образцах, предел выносливости которых описывается горизонтальными участками кривых $\sigma_{-1} = f(\alpha_s)$, при напряжениях ниже предела выносливости, но превышающих сопротивление зарождению усталостных трещин, всегда возникают нераспространяющиеся трещины. Предел выносливости таких образцов контролируется распространением усталостных трещин.

Абсциссы точек пересечения левых и правых ветвей кривых, показанных на рис. 1, равны критическим значениям коэффициента концентрации напряжений $\alpha_{кр}$, при которых пределы выносливости,

контролируемые зарождением и распространением усталостных трещин, становятся одинаковыми.

Из вышеизложенного следует, что эти кривые позволяют не только выявлять величину предела выносливости испытанных образцов, соответствующую различным значениям α_0 и величинам остаточных напряжений, но и устанавливать, чем в каждом случае контролируется разрушение — зарождением или распространением усталостных трещин. При этом появляется возможность отдельно оценить влияние различных факторов на предел выносливости образцов при каждом из таких видов разрушения.

Данные, приведенные на рис. 1, использованы для построения диаграммы предельных циклов напряжений, вызывающих зарождение и распространение усталостных трещин (рис. 2). По оси абсцисс отложено отношение осевых остаточных напряжений, созданных на цилиндрической поверхности образцов, к пределу текучести материала. Эти напряжения в образцах, испытываемых на изгиб с вращением, являются средними напряжениями цикла, создаваемого в таком слое. По оси ординат отложены отношения к пределу текучести максимальных и минимальных напряжений предельных циклов.

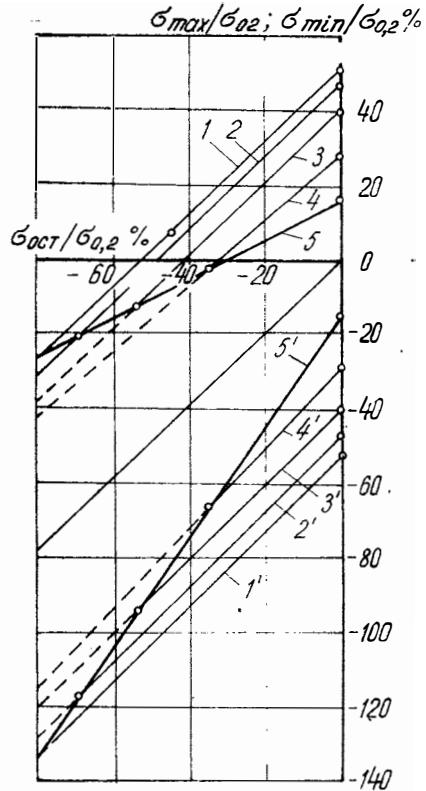


Рис. 2. Диаграмма предельных циклов напряжений испытанных образцов:

1, 2, 3, 4 и 1', 2', 3', 4' — предельные значения циклов, определяемые по зарождению усталостных трещин в образцах с коэффициентом концентрации напряжений, равным соответственно 1; 1,1; 1,3 и 1,8; 5 и 5' — предельные значения циклов для разрушения, контролируемого распространением усталостных трещин для всех концентраторов

Величина создававшихся в наружном слое образцов сжимающих остаточных напряжений определялась по изменению длины цилиндрических образцов диаметром 20 мм и длиной 150 мм при их обточке на глубину 0,5 мм. При этом предполагалось, что остаточные напряжения в осевом и кольцевом направлениях достаточно близки и могут быть приняты одинаковыми. При охлаждении в воде с температур отпуска, равных 500, 600, 650 и 700°C, рассчитанным таким образом сжимающие остаточные напряжения составляли соответственно 6,5; 25; 38 и 47 кгс/мм².

Из приведенных на рис. 1 и 2 кривых следует, что сопротивление зарождению и распространению усталостных трещин имеют резко отличающиеся зависимости от коэффициента концентрации напряжений и среднего напряжения цикла. Сопротивление зарождению трещин быстро уменьшается с ростом α_s , сопротивление их распространению (при одинаковой глубине выточки или при одинаковом отношении диаметров у ступенчатых образцов) оказывается при этом почти неизменным. С увеличением сжимающих остаточных напряжений сопротивление распространению трещин возрастет значительно быстрее сопротивления их зарождению. В результате кривые предельных напряжений цикла, соответствующих зарождению трещин, пересекаются с общими для всех значений α_s кривыми, описывающими условия их распространения (см. рис. 2). С увеличением α_s абсциссы точек пересечения рассматриваемых кривых увеличиваются. Следовательно, с ростом α_s снижаются сжимающие (имеющие отрицательный знак) остаточные напряжения, необходимые для возникновения нераспространяющихся трещин.

Предельные циклы, соответствующие точкам пересечения указанных выше кривых, лежат на границе между циклами, при которых разрушение контролируется зарождением и распространением трещин. При увеличении средних напряжений по сравнению с действующими в таких циклах (или при уменьшении сжимающих напряжений) разрушение начинает контролироваться зарождением усталостных трещин. Сопротивление распространению трещин будет в этом случае меньше, чем зарождению. В результате зарождение трещин всегда вызовет поломку детали. С ростом средних напряжений цикла отношение напряжений, необходимых для распространения трещин, к пределу выносливости, определяемому по их зарождению, снижается. Поэтому увеличение средних напряжений приведет к возрастанию относительного числа циклов, необходимых для зарождения трещин.

В случае снижения средних напряжений (или увеличения сжимающих напряжений) по сравнению с критическим уровнем, при котором происходит переход от одного вида разрушения к другому, разрушение начинает контролироваться распространением трещин. При этом напряжения, необходимые для зарождения трещин (показаны пунктиром), оказываются меньше сопротивления распространению последних и при напряжениях, расположенных между двумя рассматриваемыми кривыми, в деталях возникают нераспространяющиеся трещины. Снижение средних напряжений сопровождается в этом случае уменьшением отношения напряжений, необходимых для зарождения трещин, к напряжениям, вызывающим их распространение, и поэтому будет способствовать снижению доли циклов, необходимых для зарождения трещин.

При любых средних напряжениях цикла с ростом α_s практически одинаковым значениям сопротивления распространению тре-

щин соответствует уменьшающееся сопротивление их зарождению и, следовательно, при этом снижается относительное число циклов, необходимых для зарождения трещин.

Линейная зависимость между максимальными или минимальными значениями предельных циклов напряжений, определяемых по сопротивлению распространению усталостных трещин, и величин сжимающих остаточных напряжений, создаваемых на цилиндрической поверхности образцов, сохраняется при увеличении суммарных сжимающих напряжений до уровня порядка $1,2 \sigma_{0,2}$ (см. рис. 2). При этом пластическая деформация сжатия, уменьшающая созданные остаточные напряжения, распространяется в зоне концентрации напряжений на глубину, при которой дальнейшее повышение остаточных напряжений становится малоэффективным, а затем и бесполезным.

Остаточные сжимающие напряжения, при которых достигалось максимальное сопротивление распространению усталостных трещин (см. рис. 2), равны $0,7-0,8 \sigma_{0,2}$. Предел выносливости испытывавшихся образцов с различными значениями α_c повышался в этом случае до одинакового уровня, соответствующего пределу выносливости гладких образцов, не упрочненных остаточными напряжениями, и равно $0,5 \sigma_{0,2}$.

Проведенные испытания показали, что остаточные напряжения, обеспечивающие указанный наиболее высокий уровень упрочнения, могут быть достигнуты на изделиях из среднеуглеродистой конструкционной стали диаметром порядка 20 мм при их охлаждении в воде с 700° . Вместе с тем нагрев улучшаемых сталей до такой температуры приводит к заметному снижению их механических свойств и, в частности, предела текучести. При этом уменьшается и значение предела выносливости, достигаемого в результате упрочнения.

Сочетание высокого уровня создаваемых температурных остаточных напряжений и достаточно больших значений предела текучести материала, необходимое для получения наибольшей эффективности упрочнения, может быть достигнуто путем использования разработанных для этого специальных способов термической обработки деталей. Эти способы включают прогрев деталей по всему сечению до температур, превышающих верхнюю критическую точку с последующим регламентированным охлаждением, при котором либо полностью исключается мартенситное превращение во всем сечении детали [1], либо осуществляется закалка поверхностного слоя с последующим его самоотпуском [2]. После окончания распада аустенита, а во втором случае завершения самоотпуска мартенсита, образовавшегося в наружных слоях детали, производится ее быстрое охлаждение в воде с целью создания температурных остаточных напряжений. Режим охлаждения и прокаливаемости детали выбираются таким образом, чтобы исключить на втором этапе охлаждения мартенситное превращение во внутренних сло-

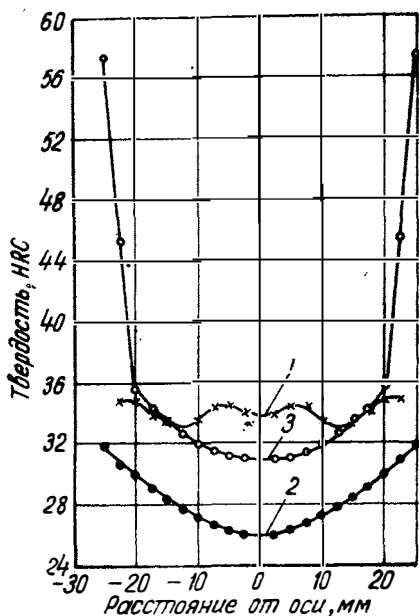


Рис. 3. Прокаливаемость образцов из стали 70 диаметром 50 мм:

1 — охлаждение в масле 30 сек, окончательное охлаждение в воде; 2 — охлаждение в масле; 3 — охлаждение в воде

ях изделия и предотвратить таким образом возможное снижение создаваемых в наружных слоях сжимающих остаточных напряжений. Термическая обработка по первому из указанных способов осуществляется путем двухстадийного охлаждения детали сначала с меньшей скоростью сжатым воздухом, в кипящей воде, масле и т. п. до температуры в наружных слоях, соответствующей минимальной стабильности переохлажденного аустенита, затем с высокой скоростью в холодной воде.

В качестве примера такой обработки рассмотрим упрочнение консольных цилиндрических образцов диаметром 50 мм с радиусом галтели 1,5 мм, изготовленных из стали 70. Упрочнение производилось путем охлаждения образцов с 820° в масле в течение 30 сек

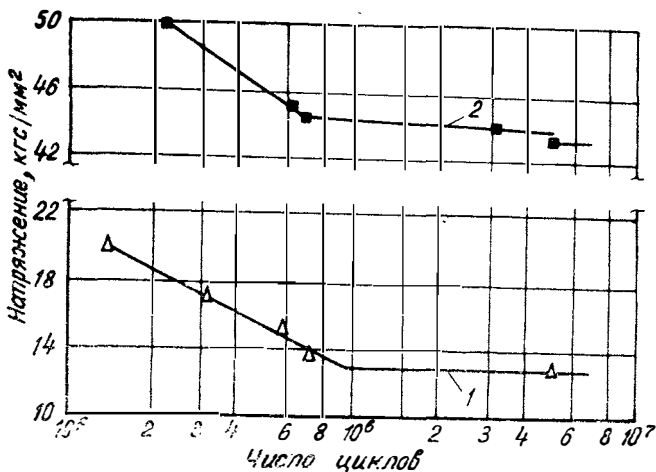


Рис. 4. Кривые усталости образцов из стали 70 диаметром 50 мм с радиусом галтели 1,5 мм:

1 — после нормализации; 2 — после упрочнения температурными остаточными напряжениями

и последующего полного охлаждения в воде с температурой 20°.

На рис. 3 показана прокаливаемость таких образцов при их охлаждении различными способами. Двухступенчатое охлаждение приводило к сравнительно равномерному распределению твердости по всему поперечному сечению упрочненных образцов.

На рис. 4 приведены результаты испытания на усталость нормализованных и упрочненных образцов, из которых видно, что упомянутый режим упрочнения позволяет повысить предел выносливости образцов с 13 кгс/мм² для нормализованного состояния до 43 кгс/мм², т. е. в 3,3 раза.

Описанные способы упрочнения могут быть использованы для повышения предела выносливости или снижения размеров и веса коленчатых валов автомобильных и других поршневых двигателей, ступенчатых валов, железнодорожных осей и других деталей с диаметром поперечного сечения, превышающим 40—50 мм. Их применение позволит также расширить номенклатуру чугунных деталей, внедряемых в производство для уменьшения расхода стального проката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авторское свидетельство НАМИ № 454266. «Бюллетень изобретений», 1974, № 47.
 2. Авторское свидетельство НАМИ № 507657. «Бюллетень изобретений», 1976, № 11.
 3. Кудрявцев И. В. и др. Экспериментальное исследование несущей способности стальных валов, охлажденных от температур ниже критических. В сб.: «Вопросы прочности крупных деталей машин». М., «Машиностроение», 1976.
 4. Bühler H. und Buchholtz C. «Stahl und Eisen», 1933, S.1330.
-

М. М. Левитан, О. Н. Крючков, В. И. Захаров

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Развитие и совершенствование автомобильной техники в ряде случаев выдвигают на первый план проблему материалов, обеспечивающих длительную и надежную работу узлов и агрегатов в самых разнообразных условиях эксплуатации.

Материалы все больше и больше определяют возможности новых конструкторских разработок. Особое значение в этой связи приобретает применение высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Основное его достоинство заключается в том, что чугун удачно сочетает в себе высокие физико-механические свойства, по ряду показателей близкие к свойствам литой и ковкой стали, с технологичностью серого чугуна.

По сравнению со сталью ВЧШГ обладает более высокой демпфирующей способностью, более высокими антифрикционными свойствами, меньшей чувствительностью к концентраторам напряжений и лучшей обрабатываемостью. За счет перевода изготовления ряда поковок на литье достигается экономия стального проката.

Технология производства ВЧШГ проще, чем ковкого чугуна, из-за отсутствия длительного графитизирующего отжига. Кроме того, этот чугун обладает более высокими механическими свойствами по сравнению с ковким чугуном.

При замене серого чугуна высокопрочным повышаются надежность и долговечность деталей. В последние годы в нашей стране и за рубежом резко увеличился выпуск отливок из ВЧШГ. Так, в США объем производства ВЧШГ занял второе место среди литейных сплавов и составил в 1976 г. 2,0 млн. т, в Западной Европе — свыше 1,5 млн. т. Несколько меньшим (приблизительно 1,2 млн. т) является объем производства отливок из высокопрочного чугуна в Японии.

Предприятиями отечественной автомобильной промышленности накоплен положительный опыт производства и применения отливок из ВЧШГ. Этот чугун применяют для изготовления таких ответственных деталей автомобилей, как коленчатые и распределительные валы, шатуны, ступицы колес, картеры дифференциалов и др. Но несмотря на то, что предприятия отрасли за последние 7—10 лет удвоили выпуск отливок из ВЧШГ, его производство явно недостаточно.

Повышение требований по долговечности и надежности автомобилей вызывает необходимость совершенствования свойств высокопрочного чугуна, которое возможно осуществлять по трем направлениям: совершенствованием металлургических процессов, оптимальным легированием и термической обработкой.

НАМИ совместно с автомобильными заводами, институтами и предприятиями других машиностроительных отраслей разработаны различные типы комплексно-легированных чугунов с шаровидным графитом, усовершенствованы процессы плавки и модифицирования, позволяющие применять их в условиях массового поточного производства деталей автомобилей.

Исследованием чугуна с шаровидным графитом в НАМИ начали заниматься почти 30 лет тому назад. Исследования были посвящены изучению механизма кристаллизации шаровидного графита и процесса присадки и растворения магния в чугуне, разработке диаграммы, определяющей количественную зависимость между содержанием углерода, кремния, магния и структурой чугуна, а также рассмотрению явления усадки и ликвации в магниевом чугуне [16].

На основе проведенных в НАМИ исследований в 1953 г. совместно с Ярославским автомобильным заводом разработан и внедрен процесс отливки маслота из ВЧШГ для изготовления верхних компрессионных поршневых колец двухтактных дизельных двигателей. Этой работой, по существу, положено начало применения ВЧШГ в отечественном автомобилестроении [15].

Следующим важным этапом было создание литых коленчатых валов карбюраторных двигателей [2; 9; 10]. В 1959 г. выполненные разработки применены на Мелитопольском моторном заводе при производстве микролитражных двигателей с воздушным охлаждением для автомобилей «Запорожец».

Большое народнохозяйственное значение имеют работы, выполненные НАМИ в содружестве с автомобильными заводами, по созданию и внедрению поршневых колец повышенного качества. На основе проведенных исследований сформулировано более прогрессивное направление в развитии производства поршневых колец из чугуна с шаровидным графитом, в основу которого положены новый подход к выбору оптимальной структуры материала и применение способа получения индивидуальных профильных заготовок поршневых колец взамен способа отливки маслота (цилиндрических заготовок) [11].

Предложенное техническое решение позволяет:

- 1) получать поршневые кольца с более высокими служебными свойствами;
- 2) значительно упростить режим термической обработки заготовок благодаря получению заданной литой структуры чугуна;
- 3) уменьшить припуски на механическую обработку и снизить ее трудоемкость, значительно сократив потери металла в стружку;
- 4) использовать современный способ обработки по копиру, обеспечивающий расчетную эпюру давлений поршневых колец на стенки цилиндров.

Разработаны и исследованы основы получения индивидуальных заготовок поршневых колец из чугуна с шаровидным графитом, включающие выбор химических составов чугуна [12; 13], процесс плавки, модифицирования, питания и термической обработки отливок.

Изучены особенности структурообразования в особо тонкостенных отливках из ВЧШГ. Показано, что оптимальной является гетерогенная структура чугуна, состоящая из шаровидного графита, перлита, феррита (до 10%) и цементита (до 10%), обеспечивающая высокую прочность, теплостойкость и износостойкость поршневых колец [3].

Особенность процесса плавки чугуна с шаровидным графитом для получения оптимальной литой структуры поршневых колец состоит в том, что расплавленный и перегретый до требуемой температуры чугун обрабатывается рафинирующими и модифицирующими присадками [4].

Экспериментально установлено, что равномерная структура и удовлетворительное питание отливок достигаются применением специальной литниковой системы.

Исследованием структурной стабильности тонкостенных отливок из ВЧШГ при температурах 450—600° установлен режим термической обработки поршневых колец, не вызывающий распада перлита [3].

Специальными испытаниями на двигателях показано, что поршневые кольца индивидуальной отливки обладают более высокой работоспособностью в условиях преобладающих ударных нагрузок по сравнению с кольцами, изготовленными из маслот (табл. 1). Микрофактографическими исследованиями показано, что это связано с морфологическими особенностями структуры тонкостенных отливок из ВЧШГ.

Выполненные исследования положены в основу разработки и освоения промышленной технологии получения поршневых колец из чугуна с шаровидным графитом на Мичуринском заводе им. Ленина на программу двигателей ВАЗ и МеМЗ и на Макинском заводе поршневых колец для двигателей ЯМЗ-236.

Экономический эффект от внедрения разработанных типов чугунов и технологии производства поршневых колец способом индивидуальной отливки составляет более 1 млн. руб. в год.

Сравнительные свойства поршневых колец, изготовленных из различных материалов

| Параметр | Материал и поставщик колец | | | |
|--|---|---|---|---|
| | Высокопрочный чугу́н с шаровидным графитом | | | Чугун с пластинчатым графитом, легированный, ФРГ |
| | МЗЛ | ФРГ | Япония | |
| Вид заготовки | Индивидуальная отливка | Маслота центробежной отливки | Маслота стационарной отливки | Индивидуальная отливка |
| Микроструктура | Графит шаровидный 5—25 мкм, равномерно распределен в перлитной матрице. Допускаются мелкие включения феррита и цементита, не более 10% каждого, равномерно распределенные в матрице | Графит шаровидный 5—40 мкм, равномерно распределен в матрице, закаленной на мартенсит | Графит шаровидный 20—100 мкм, равномерно распределен в матрице, закаленной на мартенсит | Графит тонкопластинчатый и крабовидный, равномерно распределен в троостосорбитной матрице. Фосфидная эвтектика в виде разорванной сетки |
| Твердость, НРВ | 104—112 | 104—112 | 104—112 | 106—114 |
| Нормальный модуль упругости, кгс/мм ² | 15000—17000 | 15000—17000 | 14500—16500 | 9000—12000 |
| Остаточная деформация, % | 2—5 | 4—6 | 2—4 | 8—10 |
| Потеря упругости, при 300°С, % | 3—6 | 5—7 | 8—10 | 8—12 |
| Надежность* | 20 без поломок | 3—20 | 10—20 | 5—8 |

* За надежность принято количество часов, выдерживаемых кольцом до поломки при ускоренных стендовых испытаниях на режиме 6900—7000 об/мин, предусматривающих повышение ударных нагрузок на кольца за счет увеличения зазора в канавке до 0,3 мм.

Технология получения высокопрочного чугуна для поршневых колец включает модифицирование расплава магнийсодержащими присадками. При этом имеют место случаи повышенного литейного брака и другие отклонения от нормы, связанные со специфической особенностью процесса получения высокопрочного магниевого чугуна (повышенная чувствительность к образованию шлаковых и газовых раковин, склонность к объемной усадке и др.).

Исследования, проведенные в НАМИ, показали, что перспективным направлением дальнейшего совершенствования качества поршневых колец из высокопрочного чугуна является применение редкоземельных металлов (РЗМ) в качестве частичного или полного заменителя магния при модифицировании чугуна.

При обработке жидкого чугуна сплавами с РЗМ практически отсутствует пироэффект, растворение присадки не сопровождается бурным выделением паров, что значительно упрощает процесс модифицирования, позволяя вводить модификатор в открытый ковш без специальных приспособлений (погружаемые стаканы и т. п.).

Низкое содержание магния или полное его отсутствие в чугуне позволит уменьшить склонность отливок к образованию усадочных дефектов, подкорковых газовых раковин и неметаллических включений, которые, как известно, связывают с наличием магния в чугуне, особенно при получении отливок в сырых песчаных формах.

Изучение влияния редкоземельных металлов на структуру и свойства высокопрочного чугуна в отливках поршневых колец двигателя ЯМЗ показало, что поршневые кольца индивидуальной отливки из чугуна с РЗМ обладают достаточно высокими твердостью (107—110 HRB), прочностью (разрушающее усилие 12—16 кгс; развод замка до разрушения кольца 100—150 мм), модулем упругости (17200—17800 кгс/мм²) и незначительной остаточной деформацией (0,5—1%). Потеря упругости их при 300°C не превышает 6%. Вместе с тем поршневые кольца отличаются повышенным разбросом свойств, причиной которого является нестабильность структуры отливок.

Показано, что стабилизация структуры отливок из чугуна с редкоземельными металлами может быть достигнута путем одновременного ввода в чугун магния. Чугун, модифицированный РЗМ и Mg, сочетает в себе положительные качества как магниевого чугуна (стабильность структуры), так и чугуна только с РЗМ (более низкая склонность к образованию усадочных дефектов). Оптимальным соотношением количества РЗМ и магния является 1—1,5. Влияние соотношения количества РЗМ и Mg на отбел отливок показано на рис. 1.

Экономия проката в отрасли может обеспечить более широкое применение высокопрочных чугунов для изготовления таких деталей, как коленчатые валы, шатуны и др.

Переход на литье сокращает общий технологический цикл производства. При литье заготовок, кроме экономии металла, сокращаются продолжительность и трудоемкость механической обработки

за счет устранения некоторых операций и уменьшения припусков на механическую обработку.

Коленчатые валы и шатуны современных автомобильных двигателей подвергаются знакопеременным динамическим нагрузкам. Условия работы этих деталей таковы, что материалы, применяемые для их изготовления, должны иметь высокие механические свойства (прочность, пластичность, ударную вязкость), особенно высокое сопротивление усталости. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом вполне отвечает указанным требованиям.

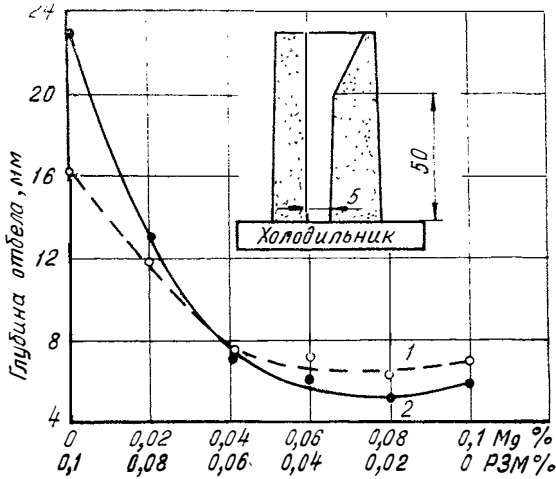


Рис. 1. Зависимость глубины отбела отливок чугуна от количества Mg и PЗМ в модификаторе:
 1 — заливка через 15 сек после модифицирования ФС-75;
 2 — заливка через 2 мин 15 сек после модифицирования ФС-75

Как показали исследования, заметное повышение статической и усталостной прочности ВЧШГ может быть достигнуто путем совместного легирования чугуна и термической обработки отливок.

Весьма эффективным оказалось легирование чугуна медью, которая в отличие от других добавок (например, марганца, хрома, никеля) одновременно понижает склонность чугуна к отбелу и стабилизирует перлит.

Ограниченная растворимость меди в альфа-железе вызывает в железоуглеродистых сплавах эффект дисперсионного твердения, в результате чего повышается предел прочности, особенно предел текучести чугуна.

Оптимальным является легирование чугуна 0,7—1,0% меди. Изучено также влияние других компонентов чугуна на свойства отливок (табл. 2).

Таблица 2

Влияние химического состава и скорости остывания отливок * после первичной кристаллизации на свойства чугуна

| Содержание элемента, % | Механические свойства отливок в литом состоянии | | | | | | | |
|-------------------------------|---|-----|--------------------------------|-------|------------|-----|-----------------------------|------|
| | НВ | | σ_b кгс/мм ² | | δ % | | a_k кгс·м/см ² | |
| | А | Б | А | Б | А | Б | А | Б |
| Влияние кремния (0,8—1,0% Мп) | | | | | | | | |
| 1,66 | — | — | 76,0 | 100,6 | 6,5 | 5,5 | 4,2 | 4,6 |
| 1,72 | 257 | 300 | 75,6 | 110,0 | 6,0 | 3,6 | 3,3 | 2,8 |
| 2,20 | 285 | — | 81,5 | 85,4 | 4,3 | 6,0 | 3,7 | 3,4 |
| 2,82 | — | 311 | — | 87,7 | — | 2,6 | — | 1,22 |
| Влияние хрома (1,0% Мп) | | | | | | | | |
| 0,009 | 257 | 300 | 75,6 | 110,0 | 6,0 | 3,6 | 3,3 | 2,8 |
| 0,05 | 261 | — | 75,9 | — | 4,2 | — | 4,2 | — |
| 0,18 | 317 | — | 100,5 | — | 2,0 | — | 2,3 | — |
| 0,31 | 327 | — | 100,1 | — | 2,2 | — | 2,1 | — |
| 0,44 | — | — | 88 | — | 1,5 | — | 0,7 | — |
| Влияние фосфора | | | | | | | | |
| 0,023 | 236 | 309 | 70,0 | 105,0 | 6,5 | 6,6 | 5,6 | 5,0 |
| 0,059 | 217 | — | 68,2 | 89,5 | 5,6 | — | 2,25 | — |
| 0,092 | 250 | 302 | 75,0 | 75,4 | 3,0 | 2,5 | 1,2 | 1,1 |

* А — остывание в форме; Б — остывание на воздухе (отливки извлекали из формы при температуре 920—950°C).

Из приведенных данных следует, что положительное влияние кремния на прочность и пластичность чугуна проявляется при сравнительно низкой концентрации кремния (до 2%). Наиболее существенно на свойства чугуна влияют хром и фосфор.

Исследования влияния термической обработки на свойства чугуна показали положительное влияние хрома на ударную вязкость a_k после улучшения (табл. 3).

Таблица 3

Влияние хрома и термической обработки на твердость и ударную вязкость чугуна

| Содержание хрома, % | Термическая обработка | | | |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| | Литье и отпуск при 650 °С | | Закалка 900 °С в воду, отпуск 650 °С | |
| | НВ | a_k кгс·м/см ² | НВ | a_k кгс·м/см ² |
| 0,009 | 241 | 2,72 | — | 3,35 |
| 0,17 | 272 | 2,24 | 290 | 3,90 |
| 0,25 | 261 | 2,60 | 300 | 5,05 |
| 0,30 | 280 | 1,95 | 306 | 4,45 |

При отливке тонкостенных изделий необходимо учитывать карбидостабилизирующее действие хрома и ограничивать его концентрацию в сплаве до 0,15%.

На основе полученных данных принят следующий химический состав чугуна с шаровидным графитом для отливки шатунов: 3,0—3,6% углерода, 2,2—2,8% кремния, до 0,6% марганца, до 1,5% никель+медь, до 0,15% хрома, до 0,05% фосфора, 0,02—0,06% магния.

Механические свойства чугуна после термической обработки следующие:

временное сопротивление $\sigma_b = 80—90$ кгс/мм²;

предел текучести $\sigma_{0,2} = 55—70$ кгс/мм²;

относительное удлинение $\delta = 3,0—7,0\%$;

ударная вязкость $a_k = 2,0—5,0$ кгс·м/см²;

предел выносливости $\sigma_{-1} > 30$ кгс/мм²;

твердость HB = 260—290.

Конструкцию литых шатунов разработали в КБ двигателей Управления главного конструктора ВАЗ. За основу принята конструкция стальных шатунов серийного производства. В отличие от поковок литые шатуны спроектированы с увеличенными радиусами сопряжения.

Применение шатунов из чугуна с шаровидным графитом в двигателях ВАЗ позволит сэкономить около 5 тыс. т стального проката в год.

В современных автомобильных двигателях заметно возросли рабочие температуры тепловых процессов. К деталям, подверженным тепловому воздействию, можно отнести корпуса газовых турбин турбонагнетателей, седла клапанов и другие. Материалы, из которых могут быть изготовлены подобные детали, должны иметь повышенную жаропрочность и жаростойкость, минимальный коэффициент термического расширения. Термические напряжения, возникающие в материале, зависят не только от перепада температур, но и от величины коэффициента термического расширения. Кроме того, эти материалы должны иметь достаточно высокую прочность и пластичность при комнатной температуре, а также удовлетворительную технологичность применительно к условиям массового производства [5].

Исследования с целью разработки специальных видов чугунов для деталей, работающих при температурах 650—750°, показали, что перечисленным выше требованиям удовлетворяет ферритный чугун с шаровидным графитом с повышенным содержанием кремния (4—5%) с добавками хрома (до 0,7%) и молибдена (до 1,5%) [8].

Работа, выполненная в этом направлении совместно с ЯМЗ, привела к созданию нового жаростойкого и термостойкого чугуна КМЧ-55 (4,5—5,0% Si; 0,4—0,6% Mo; 0,1—0,3% Cr; 0,025—0,09% Mg) [6] для корпусов турбонагнетателей дизельных двигателей ЯМЗ-238НБ и ЯМЗ-240Н. Ранее эта деталь изготовлялась из вы-

соконикелевого (18%) сплава — нирезиста. Опыт эксплуатации двигателей с турбонаддувом показал, что нирезист не обеспечивает необходимую долговечность корпуса. При температурах 800°C и выше происходит растрескивание корпуса. Применение КМЧ-55 взамен нирезиста позволило решить две задачи: повысить надежность и работоспособность корпусов турбоагнетателей двигателей ЯМЗ-240Н в три-четыре раза и сэкономить дефицитные никель и медь. Экономический эффект в народном хозяйстве от внедрения этой разработки на Ярославском моторном заводе составил свыше 300 тыс. руб. в год.

Материал для седел выпускных клапанов современных форсированных двигателей должен быть жаростойким, износостойким и иметь высокое сопротивление ударным нагрузкам при повышенных температурах. Кроме того, следует также учитывать его технологические свойства — обрабатываемость лезвийным режущим инструментом. Это связано с тем, что современная технология механической обработки седел практически полностью исключает обработку рабочей фаски абразивным инструментом. Обработка резцом обеспечивает значительно более высокую точность выполнения геометрии фаски.

В результате проведенных исследований выбран отвечающий этим требованиям хромомолибденованадиевый чугун (6—7% Cr; 1,0—1,5% Mo; 0,2—0,5% V; до 0,2% P; 0,03—0,05 Mg) [7]. Показано, что в высоколегированных углеродистых сплавах, кристаллизующихся при обычных условиях выплавки в виде белого чугуна, можно за счет повышения активности углерода модифицированием расплава магнием и ковшевой обработкой ферросилицием вызвать достаточно интенсивную графитизацию и образование значительного количества графита компактной и шаровидной формы. Микроструктура хромомолибденованадиевого чугуна состоит из шаровидного графита, перлита и карбидов (15—20 об%).

Разработанный чугун рекомендован для производственного опробования в качестве материала седел клапанов двигателей ЗМЗ. Опытная партия седел установлена на двигателях ЗМЗ-24, которые находятся в эксплуатации в 1-м таксомоторном парке г. Москвы.

Одной из причин, сдерживающей более широкое использование в конструкциях автомобилей высокопрочного чугуна, является недостаточное знание его хладостойких свойств.

В настоящее время имеется мало данных о зависимости сопротивления разрушению ВЧШГ при пониженной температуре от содержания таких основных химических элементов, как углерод и кремний. Отрицательное влияние фосфора на величину ударной вязкости описано в литературе, однако рекомендации о допустимых пределах его содержания в чугуне весьма противоречивы, как и данные о влиянии фосфора на порог хладноломкости. Что касается марганца, то его содержание в хладостойком ВЧШГ по данным большинства исследователей не должно превышать 0,4% [1; 14].

Применительно к условиям работы деталей автомобилей при пониженных температурах исследовано влияние химического состава ферритного ВЧШГ на его ударную вязкость и порог хладноломкости.

Показано, что по сумме свойств—ударной вязкости, хладноломкости и технологичности—наилучшим является чугу́н с шаровидным графитом, содержащий 3,3—3,7% углерода, 1,6—1,9% кремния, до 0,03% фосфора, до 0,4% марганца, до 0,01% серы, 0,03—0,05% магния. Этот чугу́н имеет следующие механические свойства: $\sigma_b = 40\text{—}42$ кгс/мм²; $\sigma_{0,2} = 23\text{—}25$ кгс/мм²; $\delta = 24\text{—}26$ %; НВ=150—180; T_{50} ниже минус 70°C; $a_k^{20} = 13\text{—}15$ кгс·м/см²; $a_k^{-70} = 11\text{—}13$ кгс·м/см².

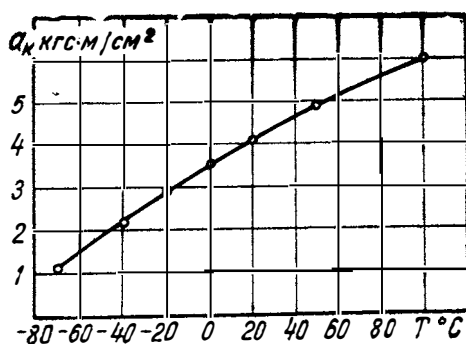


Рис. 2. Изменение величины ударной вязкости стали 35Л в зависимости от температуры испытания (образцы с надрезом)

По уровню ударной вязкости при всех исследованных температурах ферритный ВЧШГ превосходит ферритный ковкий чугу́н.

Ударная вязкость стали 35Л образцов с надрезом при комнатной температуре выше, чем образцов ВЧШГ, а при температурах — 60—70°C практически такая же (рис. 2). Это свидетельствует о том, что ударная вязкость стали при понижении температуры уменьшается быстрее, чем ВЧШГ.

Таким образом, более широкое применение высокопрочного чугу́на с шаровидным графитом для изготовления автомобильных деталей обеспечит экономию металла, высвобождение стального проката, повышение надежности и долговечности, снижение эксплуатационных расходов.

Для решения этой важнейшей народнохозяйственной задачи необходимо расширение и углубление исследований, направленных на создание новых марок высокопрочных чугу́нов и дальнейшее совершенствование технологии их производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вашенко К. И., Софрони Л. Магниевый чугун. М.— Киев, Машгиз, 1960.
 2. Горбунов С. Ф., Левитан М. М. Рациональная организация производства отливок из магниевого чугуна. «Литейное производство», 1957, № 11.
 3. Крючков О. Н. Исследование влияния состава чугуна с шаровидным графитом на некоторые свойства поршневых колец. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., ЦНИИТМАШ, 1978.
 4. Крючков О. Н., Левитан М. М. Металлургические особенности получения высокопрочного чугуна для поршневых колец. «Литейное производство», 1976, № 9.
 5. Левитан М. М. Свойства и применение жаростойких чугунов для теплонапряженных деталей автомобильных двигателей. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 156. М., 1975.
 6. Левитан М. М., Амосов В. И. и др. Жаростойкий чугун. Авторское свидетельство № 276431, «Бюллетень изобретений», 1970, № 23.
 7. Левитан М. М., Вернер К. А. и др. Чугун. Авторское свидетельство № 499739, «Бюллетень изобретений», 1976, № 2.
 8. Левитан М. М., Зайцевская Т. Г. Исследование структуры и свойств жаростойких ферритных и аустенитных чугунов для корпуса турбо-нагнетателя. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 156. М., 1975.
 9. Левитан М. М., Горбунов С. Ф. Производство отливок из чугуна с шаровидным графитом. М., ЦИТИАМ, 1964.
 10. Левитан М. М., Горбунов С. Ф., Колосов Ю. М. Производство колеччатых валов из магниевого чугуна. В сб. докладов 18-й Всесоюзной конференции литейщиков. М., 1966.
 11. Левитан М. М., Крючков О. Н. Повышение прочности и работоспособности поршневых колец автомобильных двигателей. Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания «Новые материалы, применяемые в отечественном и зарубежном автомобилестроении и методы их упрочнения». М., 1971.
 12. Левитан М. М., Крючков О. Н. и др. Чугун с шаровидным графитом. Авторское свидетельство № 380737, «Бюллетень изобретений», 1973, № 21.
 13. Левитан М. М., Крючков О. Н. и др. Чугун с шаровидным графитом. Авторское свидетельство № 475411, «Бюллетень изобретений», 1975, № 24.
 14. Пестов Е. С. Разработка и исследование свойств хладостойкого чугуна с шаровидной формой графита. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., ЦНИИТМАШ, 1977.
 15. Степин П. И. Поршневые кольца из высокопрочного чугуна. «Автомобильная и тракторная промышленность», 1955, № 11.
 16. Степин П. И. Условия получения в литье структуры чугуна с глобулярным графитом. М., Машгиз, 1952.
-

ИССЛЕДОВАНИЕ ХЛАДОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

В связи с тем, что многие конструкции автомобильной техники часто эксплуатируются в экстремальных условиях нагружения (при низких температурах, ударных нагрузках и т. п.) в последние годы значительное внимание уделяется вопросам разрушения и, в частности, проблеме хладостойкости.

Особое значение приобретает рассмотрение этой проблемы в связи с более широким использованием в конструкциях автомобилей высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) взамен ковкого чугуна и стали [18].

Основное достоинство высокопрочного чугуна с шаровидным графитом заключается в том, что он удачно сочетает в себе высокие механические свойства, по некоторым показателям близкие к свойствам литой и ковкой стали, с технологичностью серого чугуна.

По сравнению с ковким чугуном ВЧШГ обладает более высокой прочностью, а технология его производства более проста из-за отсутствия длительного графитизирующего отжига. За счет перевода изготовления ряда поковок на литье достигается экономия остродефицитного стального проката.

В отечественной и зарубежной автомобильной промышленности из ВЧШГ изготавливают ряд весьма ответственных деталей (коленчатые и распределительные валы, шатуны и др.).

В последние годы по мере развития и совершенствования технологии литейного производства качество ВЧШГ заметно улучшилось, что открывает новые возможности для более широкого его использования в конструкциях автомобилей. Вместе с тем ряд вопросов прочности, в частности особенности разрушения ВЧШГ, поведение его при низких температурах и другие, еще недостаточно изучен.

Целью настоящей работы являются исследование влияния химического состава и структуры на ударную вязкость и хладостойкость высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, разработка рекомендаций для его применения в производстве некоторых деталей.

Ударная вязкость и хладноломкость чугуна

В зависимости от условий эксплуатации разрушение деталей может быть различным. Если нагружается пластичный материал, то за счет пластической деформации вблизи концентраторов напряжений (трещин, надрезов, пористости, включений и др.) происходит релаксация напряжений. Если же материал находится в хрупком состоянии, когда его пластическая деформация исключена, то разрушение может произойти при более низких напряжениях по сравнению с пластичным материалом. Характер разрушения зависит от напряженного состояния, скорости деформации, наличия концентраторов напряжений, абсолютных размеров, температуры и т. д.

Между процессами вязкого и хрупкого разрушения существуют большие различия. Энергоемкость процессов вязкого и хрупкого разрушения различна. Энергия, поглощаемая при вязком разрушении, больше, чем при хрупком. Скорости распространения трещин также различны. Вязкому разрушению соответствует меньшая, чем хрупкому, скорость распространения трещины. Вязкое и хрупкое разрушения вызывают образование различных поверхностей излома. Наблюдение изломов позволяет судить о характере разрушения. Волокнистый излом является результатом вязкого разрушения, кристаллический — хрупкого.

Одной из причин образования микротрещин в сталях и чугунах можно считать неоднородности структуры, которые играют роль сложных концентраторов напряжений, способных создавать зародыши разрушения уже при деформации, равной 1% [17].

Хрупкое разрушение, происходящее с большой скоростью, представляет большую опасность. В связи с этим установление критериев вязкости разрушения является чрезвычайно важным. Сопроотивление материала продвижению в нем трещины может быть охарактеризовано работой распространения трещины a_p , которая определяется различными методами: Н. Н. Давиденкова, А. П. Гуляева, Б. А. Дроздовского и другими.

Для чугунов оценка сопротивления разрушению при помощи критерия a_p затруднена из-за малых его значений по сравнению с ошибкой измерения.

Кроме a_p , сопротивление материалов хрупкому разрушению характеризует коэффициент интенсивности напряжений у вершины трещины K_{1c} .

Хотя реальный металл как правило имеет дефекты, близкие к трещинам, или готовые трещины, в определенных условиях он спо-

способен надежно работать. Это связано с тем, что каждому данному материалу, характеру приложенных напряжений отвечает свой критический размер трещины, выше которого происходит разрушение. Чем выше вязкость материала, тем больше критический размер трещины.

Критическую величину интенсивности напряжений, отвечающую моменту неустойчивости трещины, обозначают K_{1c} . Эту величину, являющуюся количественной характеристикой вязкости разрушения, определяют на образцах с нанесенной усталостной трещиной. Величину K_{1c} вычисляют по экспериментально определяемым критической длине трещины и разрушающему напряжению, что сопряжено с большими трудностями, в связи с чем в настоящее время определение значения K_{1c} не нашло широкого применения. Кроме того, корреляция K_{1c} с другими механическими характеристиками (например, ударной вязкостью, пределом текучести) надежно не установлена.

Определение характера разрушения по виду излома, хотя является субъективным и во многих случаях требует применения электронной микроскопии [1; 10], возможно, поскольку в строении излома находят четкое отражение все стадии процесса разрушения.

Испытания на ударную вязкость широко используются для оценки надежности материала. Высокое значение ударной вязкости является важным фактором при рекомендации материала для работы в тяжелых условиях эксплуатации, например, в режиме динамических нагрузок при низкой температуре. Из практики известно, что надежнее тот материал, у которого наиболее высокое значение ударной вязкости при температуре эксплуатации.

Пользуясь величиной ударной вязкости чугунов различного химического состава, строения металлической матрицы, формы, размеров, занимаемой площади и характера распределения графитовых включений, можно определить сравнительную склонность этих чугунов к хрупкому разрушению.

Известно, что понижение температуры является сильнодействующим фактором, который способствует проявлению у всех сплавов на основе железа склонности к хрупкому разрушению. Наиболее чувствительной к изменению температуры из всех широко применяемых механических характеристик является ударная вязкость.

Испытания серии образцов с целью определения ударной вязкости при различных температурах могут проводиться для характеристики сопротивления металла хрупкому разрушению. Для многих металлов резкое снижение ударной вязкости при уменьшении температуры свидетельствует о его переходе в хрупкое состояние. Критерием сопротивления металлов хрупкому разрушению служит так называемая критическая температура хрупкости $T_{кр}$. Эта температура перехода от вязкого разрушения к хрупкому называется порогом хладноломкости, а само явление хрупкого разрушения металлов при низких температурах называется хладноломкостью. Положение порога хладноломкости характеризует сопротивление хруп-

кóму разрушению; чем ниже $T_{кр}$ тем, следовательно, выше надежность материала [12]. Эксплуатировать в сколько-нибудь ответственных случаях металл при температуре ниже $T_{кр}$ нельзя. Порог хладноломкости характеризует работу металла в экстремальных условиях и может свидетельствовать о способности материала переходить в хрупкое состояние при возникновении ряда факторов: воздействия низких температур или физико-химических сред, повышения скорости нагружения и т. п.

Наиболее распространенной на практике оценкой склонности металла к хрупкому разрушению является испытание надрезанных и ненадрезанных образцов на ударный изгиб при различных температурах испытаний и построение зависимости «ударная вязкость—температура испытания». Этот способ испытания подробно исследован в работах А. П. Гуляева, Н. Н. Давиденкова и др.

Чаще всего в качестве критерия порога хладноломкости чугуна используют температуру, ниже которой происходит резкое падение ударной вязкости [8]. Однако определение порога хладноломкости по кривой ударной вязкости не всегда характеризует действительную температуру перехода от вязкого к хрупкому разрушению. Кривые ударной вязкости в зависимости от температуры испытаний для разных материалов имеют различный вид. Резкий переход от вязкого к хрупкому состоянию характерен для чистых материалов. Для многих сплавов, в том числе и некоторых чугунов, не наблюдается резкого перехода в хрупкое состояние, кривая ударной вязкости плавно снижается при уменьшении температуры испытания. Определение порога хладноломкости по такой кривой бывает затруднительным, а часто и невозможным.

В литературе нет указаний на то, что для чугунов применяется определение порога хладноломкости по виду излома (проценту волокна в изломе), хорошо разработанное для стали [12; 13]. Принято характеризовать порог хладноломкости температурой, при которой в изломе находится 50% волокна. Обозначают определенный таким образом порог хладноломкости T_{50} .

Влияние химического состава на ударную вязкость и хладноломкость чугунов

Значения ударной вязкости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом находятся в довольно широких пределах 0,5—15 кгс·м/см², что в основном зависит от химического состава и структуры металлической основы [10; 18].

Содержание углерода в ВЧШГ не играет существенной роли в изменении механических свойств. Предполагают [9], что это связано с действием двух взаимно противоположных факторов. С одной стороны, увеличение общего объема графита должно усиливать упрочнение, с другой — нельзя не считаться и с сужающим живое сечение матрицы действием повышенного содержания углерода. Поэтому, по-видимому, и наблюдается малая зависимость прочности

ВЧШГ от содержания углерода. Незначительное уменьшение ударной вязкости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при увеличении содержания углерода от 2 до 4% отмечено в работе [19].

Авторы настоящей работы исследовали влияние содержания углерода в интервале 2,8—3,8%. Химический состав плавок чугуна с различным содержанием углерода был следующим: 2,8—3,8% С; 1,7% Si; 0,03% P; 0,4% Mn; 0,01% S; 0,04% Mg.

Влияние содержания углерода и температуры испытания на ударную вязкость показано на рис. 1. Как следует из приведенных данных, ударная вязкость образцов чугуна с минимальным (в исследованном интервале концентраций) содержанием углерода (2,8%) наибольшая.

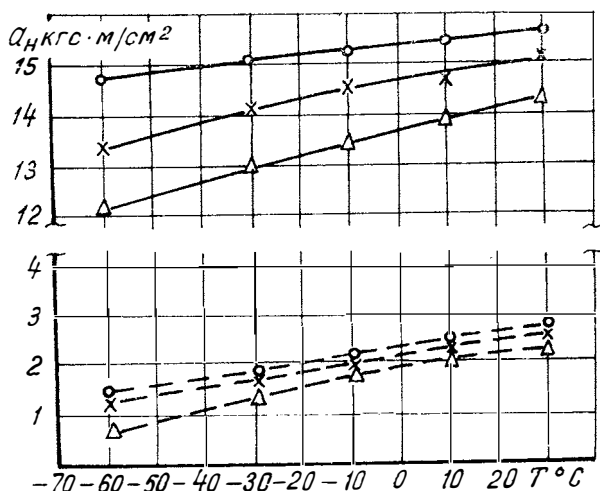


Рис. 1. Изменение величины ударной вязкости ВЧШГ при различном содержании углерода в зависимости от температуры испытания:

○ — 2,8% С; × — 3,2% С; △ — 3,8% С. — образцы без надреза, - - - образцы с надрезом

Порог хладноломкости T_{50} , т. е. температура, при которой было 50% волокнистой составляющей в изломе, у чугуна с содержанием углерода 2,8% равен минус 30°C. Порог хладноломкости ВЧШГ с содержанием углерода 3,2—3,8% находится ниже минус 70°C, т. е. имеет место смещение T_{50} на 40°, что, вероятно, связано с увеличением количества включений графита и уменьшением среднего их диаметра по мере повышения содержания углерода в чугуне.

Из всех содержащихся в чугуне элементов кремний оказывает наиболее существенное влияние на его структуру и свойства. С одной стороны, кремний — сильный графитизатор, с другой стороны, образуя твердый раствор с ферритом, кремний повышает твердость и прочность чугуна, уменьшая его пластичность. Можно считать

установленным, что при содержании кремния выше 3,0% наблюдаются снижение величины ударной вязкости и повышение хрупкости чугуна за счет образования кремнистого феррита [16].

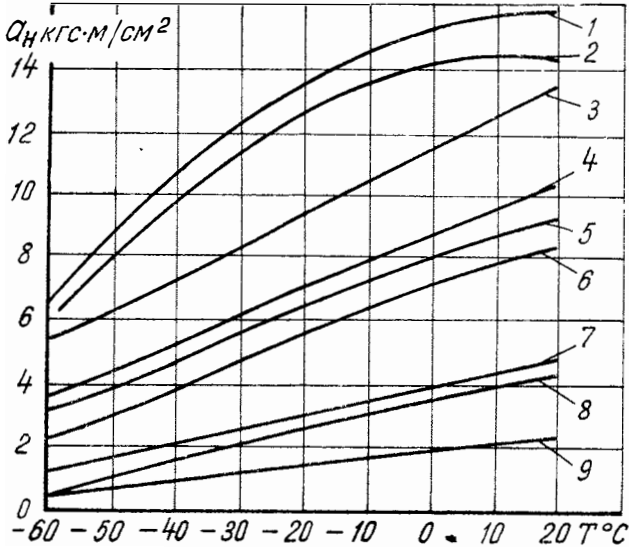


Рис. 2. Изменение величины ударной вязкости термообработанных образцов ВЧШГ без надреза при различном содержании кремния в зависимости от температуры испытания [16]:

1 — 1,80% Si; 2 — 2,30% Si; 3 — 2,80% Si при содержании 0,006% P.
4 — 1,87% Si; 5 — 2,48% Si; 6 — 2,93% Si при содержании 0,03% P.
7 — 1,90% Si; 8 — 2,36% Si; 9 — 2,90% Si при содержании 0,05% P.

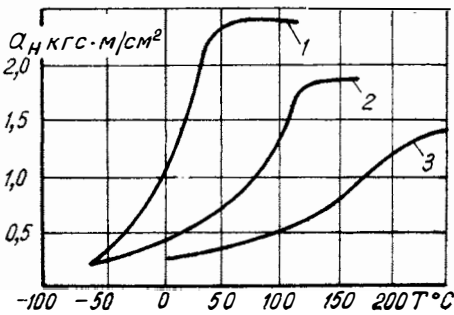


Рис. 3. Изменение величины ударной вязкости ферритного ВЧШГ (2,7% С; 0,45% Мп; 0,02% S; 0,02% Р; 0,65% Ni) образцов с V-образным надрезом при различном содержании кремния в зависимости от температуры испытания [19]:

1 — 2,0% Si; 2 — 3,4% Si; 3 — 4,6% Si

Зависимость ударной вязкости ВЧШГ от содержания кремния, взятая из литературных источников, показана на рис. 2 [16] и 3 [19]. Результаты исследования влияния содержания кремния в ВЧШГ при изменении от 1,6 до 2,2% показаны на рис. 4. Содержание остальных элементов было следующим: 3,7% С; 0,03% Р; 0,35% Мп; 0,01% S; 0,035% Mg.

Порог хладноломкости T_{50} чугуна с содержанием кремния 1,6 и 1,8% находится ниже температуры минус 70°C, а T_{50} чугуна с содержанием кремния 2,2% равно минус 30°C.

Таким образом, оптимальным содержанием кремния в чугуне, учитывая его величину ударной вязкости, значение порога хладноломкости, а также возможность получения литой структуры без цементита, следует считать 1,8%.

Рассматривая влияние химического состава чугуна на структуру и свойства отливок, необходимо обратить внимание на совместное влияние углерода и кремния, которое приблизительно может быть представлено в виде зависимости $C_{э\text{кв}} = C + 1/3\text{Si}$ [9]. Оптимальное сочетание ряда технологических свойств чугуна (жидкотекучесть, усадка, отсутствие отбела) обеспечивается в ВЧШГ при углеродном эквиваленте 4,2—4,3%. При этом необходимо иметь в виду, что пластические свойства, особенно ударная вязкость чугуна, в основном зависят от содержания кремния (пластичность увеличивается при понижении содержания кремния).

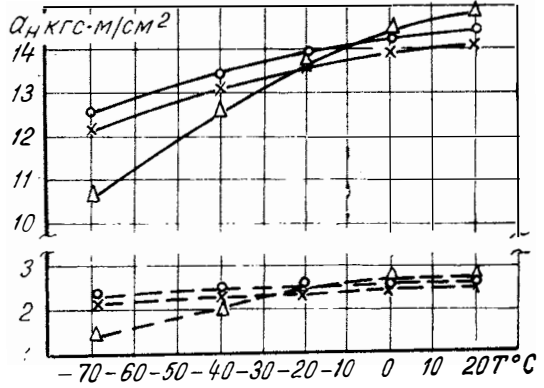


Рис. 4. Изменение величины ударной вязкости ВЧШГ при различном содержании кремния в зависимости от температуры испытания:

○ — 1,6% Si; × — 1,8% Si; △ — 2,2% Si; — — образцы без надреза; - - - образцы с надрезом

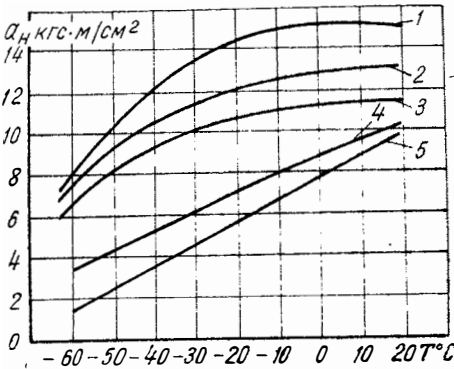


Рис. 5. Изменение величины ударной вязкости образцов высокопрочного чугуна без надреза при различном содержании марганца в зависимости от температуры испытания [16]:

1 — 0,2% Mn; 2 — 0,37% Mn; 3 — 0,6% Mn при содержании 0,016% P; 4 — 0,39% Mn при 0,03% P; 5 — 0,43% Mn при содержании 0,052% P

Увеличение содержания марганца в чугуне резко увеличивает его склонность к хрупкому разрушению [6]. Влияние марганца проявляется в увеличении перлитной составляющей металлической основы и образовании структурно свободных карбидов, а также в упрочнении феррита. Установлено, что падение пластичности и вязкости чугунов начинается при концентрации 0,3—0,5% марганца [16]. В работе [15] показано, что уменьшение содержания марганца с 0,65 до 0,2% в ВЧШГ способствует увеличению вязкости и снижению порога хладноломкости. Величина ударной вязкости при пониже-

нии температуры в зависимости от содержания марганца показана на рис. 5 [16].

Фосфор оказывает заметное влияние на механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Его влияние на ударную вязкость признано весьма неблагоприятным. Отмечено [6], что содержание в ферритном ВЧШГ фосфора 0,16% и выше сопровождается выделением фосфидной эвтектики в структуре и вызывает резкое падение ударной вязкости. Зависимость ударной вязкости ВЧШГ с различным содержанием фосфора от температуры испытания показана на рис. 6.

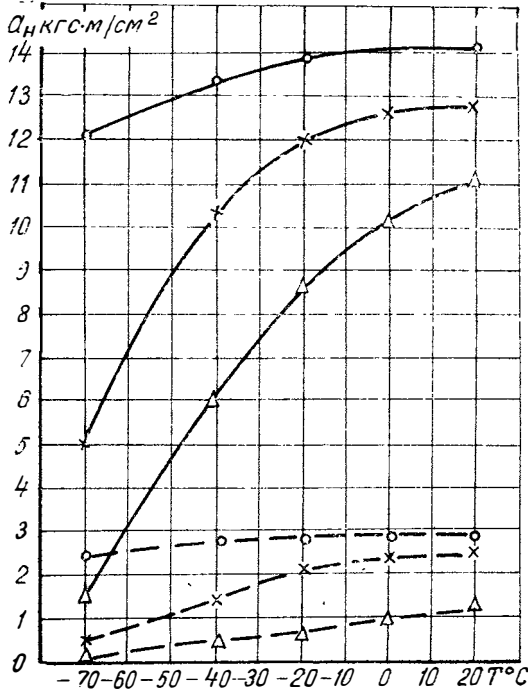


Рис. 6. Изменение величины ударной вязкости ВЧШГ (3,7% С; 2,1% Si; 0,35% Mn; 0,01% S; 0,035% Mg) при различном содержании фосфора в зависимости от температуры испытания:
 ○ — 0,03% P; × — 0,09% P; Δ — 0,16% P; — — образцы без надреза; - - - образцы с надрезом

Отмечено значительное изменение T_{50} ВЧШГ в зависимости от содержания фосфора: 0,03% P — $T_{50} = 55^{\circ}\text{C}$; 0,09% P — $T_{50} = -10^{\circ}\text{C}$; 0,16% P — $T_{50} > 20^{\circ}\text{C}$.

Содержание серы в ВЧШГ не превышает 0,01%, поэтому прямого воздействия серы на ударную вязкость из-за ее низкого содержания не наблюдается.

Магний в чугунах приводит к некоторому повышению критического температурного интервала хрупкости [6]. По мнению авторов работы [11], скорость распространения трещины в чугунах увеличивается с повышением содержания магния. При содержании магния выше 0,05% возможно его демодифицирующее действие и ухудшение формы графита. В связи с этим оптимальное остаточное содержание магния в ВЧШГ составляет 0,03—0,05%.

Зависимость ударной вязкости и положения температурного порога хрупкости чугунов от содержания легирующих элементов изучено недостаточно. Наличие легирующих элементов приводит к стабилизации перлита, образованию карбидов и некоторому упрочнению матрицы. За счет этого может происходить как уменьшение, так и увеличение ударной вязкости, повышение порога хладноломкости и прочности.

Влияние отдельных легирующих элементов различно. Например, медь стабилизирует перлит, снижает чувствительность отливок к отбелу и выравнивает распределение структурных составляющих по сечениям. При содержании в чугунах углерода более 3% графитизирующая способность меди в 3 раза меньше кремния и в 2 раза больше, чем никеля [14].

Никель упрочняет феррит и в меньшей степени, чем медь, стабилизирует перлит. Особенностью легирования никелем стали считается его положительное влияние на порог хладноломкости. Однако это утверждение нельзя безоговорочно переносить на чугуны, так как с увеличением содержания никеля усиливаются дендритная неоднородность и трансформация, что ухудшает хладостойкость [7]. Повышение хладостойкости чугуна может происходить также за счет стабилизации перлита. В работе [20] приводятся данные о том, что никель повышает прочность и ударную вязкость, особенно в сочетании с небольшими добавками молибдена. Молибден стабилизирует перлитную матрицу и упрочняет структуру. Особенно эффективно его влияние проявляется в сочетании с хромом.

На содержание хрома в магниевом чугунах следует обращать большое внимание. Малейшее его отклонение (на 0,1—0,2%), некомпенсированное соответствующей добавкой кремния, может вызвать очень большое изменение в структуре [10].

Распределение химических элементов в чугунах отличается весьма большой неоднородностью. Увеличение химической однородности структуры является одним из средств повышения пластических свойств чугуна.

Одной из причин не только большой хрупкости, но и высокой температуры хладноломкости ВЧШГ является микроликвация кремния [4]. Повышенное содержание кремния в феррите, прилегающем к графиту, сильно влияет на работу разрушения материала. Происходит охрупчивание феррита у границ с графитом.

Высокое содержание марганца увеличивает неоднородность структуры, понижает удлинение и вязкость чугуна [9].

Существует точка зрения [9], что химическая микронеоднородность кремния, фосфора и азота значительно уменьшает вязкость.

Влияние структуры на ударную вязкость и хладноломкость чугунов

Ударная вязкость является структурно чувствительной характеристикой чугуна. Так, чем больше перлита в структуре чугуна, тем ниже его ударная вязкость и выше порог хрупкости [6; 9; 10]. Ферритная металлическая основа значительно лучше сопротивляется удару, чем перлитная [3]. Зависимость ударной вязкости от структуры чугуна [16] показана на рис. 7. Эти данные указывают на то, что ферритный чугун способен противостоять внезапному разрушению деталей под влиянием ударных нагрузок, а также способен сохранять запас ударной вязкости при минусовых температурах.

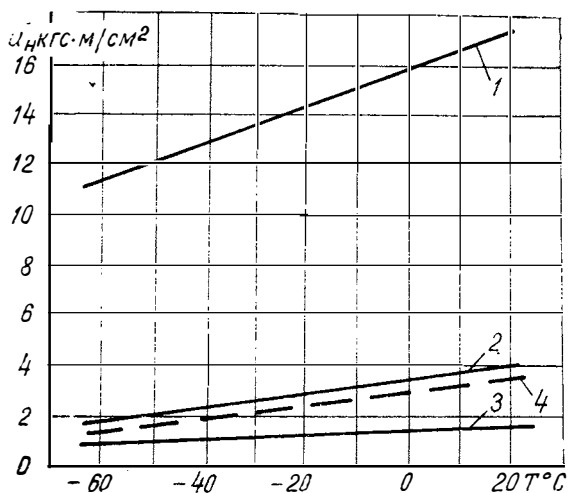


Рис. 7. Влияние структуры чугуна на ударную вязкость в зависимости от температуры испытания [16]:

1 — ферритная структура (образцы без надреза); 2 — ферритно-перлитная структура (образцы без надреза); 3 — перлитная структура (образцы без надреза); 4 — ферритная структура (образцы с надрезом)

Влияние доли перлита в структуре ВЧШГ (3,7% С; 1,9% Si; 0,35% Mn; 0,03% P; 0,01% S; 0,035% Mg) на ударную вязкость и порог хладноломкости T_{50} специально исследовано в настоящей работе. Результаты приведены в таблице.

Форма и размеры включений графита также влияют на ударную вязкость чугуна. Как известно, ударная вязкость ковкого и высокопрочного чугунов значительно выше, чем серого, с пластин-

чатым графитом, причем преимущества шаровидных и компактных форм графита проявляются главным образом при ферритной структуре [9]. Сопротивление ударной нагрузке серого чугуна с пластинчатым графитом очень мало и редко достигает 1 кгс·м/см², в ВЧШГ с ферритной структурой сопротивление удара находится в пределах 10—15 кгс·м/см². Наличие в чугуне графита нешаровидной формы резко снижает его сопротивление разрушению при ударном нагружении.

Т а б л и ц а

Ударная вязкость образцов без надреза и порог хладноломкости T_{50} ВЧШГ с различной долей перлита в структуре

| Доля перлита, % | Ударная вязкость при комнатной температуре, кгс·м/см ² | Ударная вязкость при минус 70 °С, кгс·м/см ² | Порог хладноломкости T_{50} , °С |
|-----------------|---|---|------------------------------------|
| До 2 | Образцы не разрушились | Образцы не разрушились | —70 |
| 5 | 12 | 9 | —40 |
| 15 | 11 | 8 | —30 |
| 30 | 8 | 5 | —15 |

По данным работ [5; 19], увеличение количества включений графита с одновременным уменьшением их размеров приводит к уменьшению величины a_n , в то же время порог хрупкости остается постоянным или снижается весьма незначительно. В работе [14] показано, что при 600 и более графитовых включениях на 1 мм² a_n ковкого чугуна существенно снижается.

Измельчение зерна феррита повышает ударную вязкость чугунов [9] и снижает критическую температуру хрупкости [6].

По нашим данным, укрупнение зерен феррита ВЧШГ в полтора раза по сравнению с исходным (условный средний диаметр зерна в исходном состоянии был 24 мкм) уменьшает ударную вязкость (образцы с исходным размером зерен не разрушались в интервале температур испытания плюс 20—минус 70 °С, тогда как образцы с крупными зернами имели $a_n^{20} = 14$ кгс·м/см² и $a_n^{-70} = 13$ кгс·м/см²) и повышает порог хладноломкости T_{50} до минус 30 °С против минус 70 °С для чугуна с исходным размером зерен.

Изменения размера зерен можно достичь специальной обработкой расплава, а также термической обработкой.

Благоприятно влияют на ударную вязкость чистота границ зерен и содержание примесных (вредных) элементов ниже предела их растворимости [2]. При содержании вредных элементов свыше предела растворимости образуются избыточные фазы, которые выделяются по границам зерен, резко уменьшая тем самым ударную вязкость чугуна.

Выводы

1. В работе показано, что ударная вязкость и хладостойкость высокопрочного чугуна с шаровидным графитом прежде всего зависят от его химического состава.

2. Существенное влияние на свойства ВЧШГ, особенно на положение порога хладноломкости, оказывают кремний и фосфор.

Высокие значения ударной вязкости и наиболее низкая температура $T_{кр}$ перехода из вязкого в хрупкое состояние могут быть получены при сравнительно низком содержании кремния ($<2,0\%$) и фосфора ($<0,03\%$).

3. По сумме свойств ударной вязкости, хладноломкости и технологичности оптимальным является ферритный чугун с шаровидным графитом, содержащий: 3,3—3,7% углерода; 1,8—2,0% кремния; до 0,4% марганца; до 0,03% фосфора; до 0,01% серы; 0,03—0,05% магния.

Этот чугун имеет следующие механические свойства: $\sigma_b = 40—42$ кгс/мм²; $T_{кр}$ ниже минус 70°C; $\sigma_{0,2} = 23—25$ кгс/мм²; $\alpha_H^{20} = 13—15$ кгс·м/см²; $\delta = 24—26\%$; $\alpha_H^{-70} = 11—13$ кгс·м/см², НВ = 150—180.

4. Указанный высокопрочный чугун рекомендуется для изготовления ступиц колец тяжелонагруженных автомобилей (в том числе для работы в районах Крайнего Севера), а также других деталей аналогичного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Ароне Р. Г., Бернштейн С. В., Соколовский П. И. К вопросу об оценке склонности стали к хладноломкости по виду излома. «Заводская лаборатория», 1967, № 12.

2. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. М., «Машиностроение», 1976.

3. Богачев И. Н. Металлография чугуна. М., «Металлургиздат», 1962.

4. Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. И. Основы металлографии чугуна. М., «Металлургия», 1969.

5. Васильев Е. А. Отливки из ковкого чугуна. М., «Машиностроение», 1976.

6. Ващенко К. И., Софрони Л. Магниевый чугун. М.—Киев, «Машгиз», 1960.

7. Винокур Б. Б., Браун М. П., Пилюшенко В. Л. Повышение хладостойкости литой конструкционной стали. «Литейное производство», 1977, № 1.

8. Героцкий В. А., Александров О. Д., Шерокова Н. Д. Влияние температуры на ударную вязкость высокопрочного чугуна. «Литейное производство», 1976, № 1.

9. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М., «Машиностроение», 1966.

10. Горшков А. А. и др. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. М. — Киев, «Машгиз», 1961.

11. Гузь И. С., Любченко А. П., Мацевитый В. М., и др. Влияние содержания магния на характер распространения трещины в чугунных отливках при динамическом изгибе. «Литейное производство», 1976, № 9.

12. Гуляев А. П. *Металловедение*. М., «Металлургия», 1977.
13. Зеленова В. Д. Механизм вязкого и хрупкого разрушения и методы оценки сопротивления разрушению металлов и сплавов. М., «Машиностроение», 1975.
14. Меднев А. Влияние количества графитовых включений на ударную вязкость ферритного ковкого чугуна. «Научн. тр. Висш. ин-т машиностр., механизм. и электротехн. сельск. стоп.—Русе», 1974, сер. 3 (болг.).
15. Мильман Б. С., Ключнев Н. И. и др. Влияние химического состава и структуры на механические свойства синтетического чугуна с шаровидным графитом при отрицательных температурах. «Литейное производство», 1971, № 11.
16. Пестов Е. С. Разработка и исследование свойств хладостойкого чугуна с шаровидной формой графита. Автореф. дисс. М., ЦНИИТМАШ, 1977.
17. Финкель В. М. Физика разрушения. Рост трещин в твердых телах. М., «Металлургия», 1970.
18. Чугун с шаровидным графитом для автомобильных отливок. РТМ 37.002.0170—74. М., 1975.
19. La planche H. Caractéristiques des fontes aux très basses températures. «Met. et constr. méc.», 1972, 104, № 4, 113—128.
20. Nickel Os. An Alloy in cast iron. «Modern Castings», 1977, № 9, p. 79—92.
-

*А. Н. Евграфов, Е. Ф. Медведев,
В. В. Московкин, В. А. Петрушов*

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО СНИЖЕНИЮ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ И АВТОПОЕЗДОВ

В статье рассмотрены результаты исследований аэродинамического сопротивления автомобилей и автопоездов и различных аэродинамических устройств, устанавливаемых на крыше кабины (верхние обтекатели объемного и щитового типа), под кабиной — на бампере (нижний обтекатель), на передней стенке полуприцепа.

Как известно, задача снижения аэродинамического сопротивления автотранспортного средства может решаться двумя путями:

1) за счет разработки на стадии проектирования оптимальных с точки зрения аэродинамики форм автомобиля (автопоезда) и снижения так называемых внутренних аэродинамических потерь;

2) путем создания дополнительных, устанавливаемых на уже выпускаемых серийных автотранспортных средствах аэродинамических устройств.

Проведение работ с целью решения данной задачи требует наличия сведений о влиянии конструктивных и эксплуатационных факторов на аэродинамическое сопротивление. Поэтому одним из направлений исследований, проводимых в отделе автомобилей высокой проходимости, является установление степени влияния ряда конструктивных и эксплуатационных факторов на величину аэродинамического сопротивления грузовых автомобилей и автопоездов.

Одним из основных результатов работ в этом направлении является создание способа определения аэродинамического сопротивления автомобилей и автопоездов [7], позволившего экспериментальным путем получить значения коэффициента сопротивления воздуха K для значительного количества автотранспортных средств различных типоразмеров. В таблице приведены значения фактора сопротивления воздуха W и коэффициента K для ряда грузовых автомобилей, автопоездов и автобусов.

Т а б л и ц а

| Тип автомобиля, колесная формула | Подная масса, т | Располо- жение кабины | Фактор сопротив- ления воз- духа W , кг·сек ² /м ² | Коэффици- ент сопро- тивления воздуха K , кг·сек ² /м ⁴ |
|---|--------------------|-----------------------------|--|---|
| Бортовой, 4×2 | 2,5 | Заднее | 0,143 | 0,042 |
| Бортовой, 6×6 | 10,2 | Заднее | 0,346 | 0,064 |
| Бортовой, 6×6 | 13,0 | Заднее | 0,444 | 0,071 |
| Бортовой с тентом, 6×6 | 13,0 | Заднее | 0,443 | 0,065 |
| Бортовой, 4×2 | 14,5 | Переднее | 0,432 | 0,072 |
| Бортовой, 4×2 | 15,0 | Переднее | 0,380 | 0,064 |
| Бортовой, 4×2 | 16,0 | Переднее | 0,492 | 0,078 |
| Бортовой, 6×4 | 17,7 | Заднее | 0,454 | 0,076 |
| Бортовой, 6×6 | 19,5 | Заднее | 0,496 | 0,070 |
| Бортовой с тентом, 6×6 | 19,5 | Заднее | 0,495 | 0,063 |
| Прицепной автопоезд без тента, 8×2 | 26,5 | Переднее | 0,484 | 0,096 |
| Седельный автопоезд с тентом, 8×2 | 32,5 | Переднее | 0,538 | 0,065 |
| Седельный автопоезд с тентом, 10×4 | 38,0 | Переднее | 0,644 | 0,074 |
| Седельный автопоезд с рефрижератором, 10×4 | 38,5 | Переднее | 0,685 | 0,075 |
| Седельный автопоезд с рефрижератором, 10×4 | 42,0 | Переднее | 0,734 | 0,083 |
| Седельный автопоезд с тентом, 10×4 | 48,0 | Переднее | 0,682 | 0,076 |
| Автобус междугородный, 4×2 | 12,6 | — | 0,412 | 0,063 |
| Автобус городской, 4×2 | 13,9 | — | 0,531 | 0,079 |
| Автобус городской, 4×2 | 15,2 | — | 0,434 | 0,066 |
| Автобус городской, 4×2 | 16,1 | — | 0,462 | 0,069 |

Из рассмотрения таблицы видно, что на коэффициент K , определяющий величину аэродинамического сопротивления автомобиля, заметно влияет ряд конструктивных факторов, в том числе компоновка кабины, тип кузова, наличие зазора между кабиной и кузовом и др.

В частности, полученные данные свидетельствуют о том, что заднее расположение кабины имеет преимущество перед передним по аэродинамическому сопротивлению. С использованием разработанного метода выполнены исследования, позволившие проанализировать влияние на аэродинамическое сопротивление таких конструктивных и эксплуатационных факторов, как форма кабины, наличие или отсутствие радиусов скруглений, величина превышения кузова над кабиной и др. [3].

Основными составляющими сопротивления движению магистральных грузовых автомобилей и автопоездов являются сопротив-

ление качению и аэродинамическое сопротивление. Экспериментально установлено, что наиболее интенсивно в функции скорости увеличивается аэродинамическое сопротивление, а при скоростях движения, превышающих 80 км/ч, затраты мощности на преодоление аэродинамического сопротивления магистральных автомобилей фургонного типа и автопоездов становятся преобладающими над сопротивлением качению, что находит соответствующее отражение в структуре их топливного баланса.

На рис. 1 приведен расход топлива в л/100 км на преодоление основных составляющих сопротивления движению (топливный баланс) седельного автопоезда полной массой 38 т в составе тягача

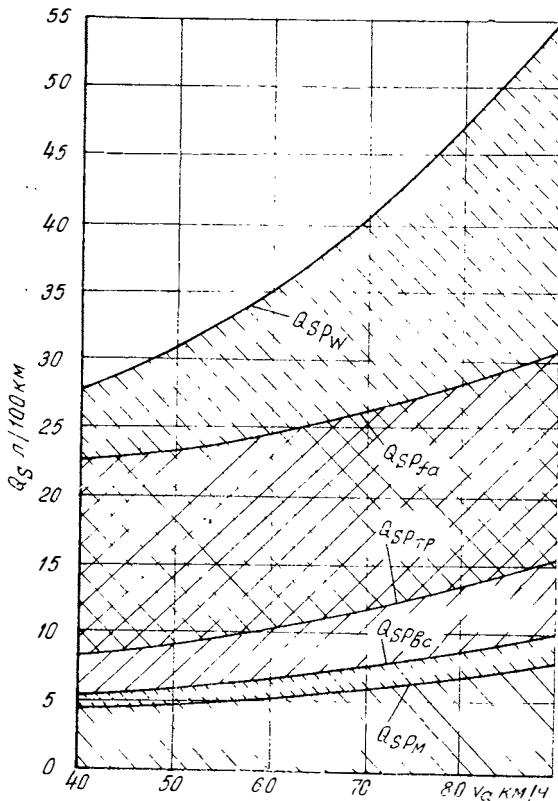


Рис. 1. Сопоставление расхода топлива на преодоление основных составляющих сопротивления движению седельного автопоезда типа 10×4 полной массой 38 т по цементобетонному шоссе с различными скоростями:

Q_{SPM} , Q_{SPbc} , $Q_{SPтр}$, Q_{SPfa} , Q_{SPw} — расход топлива на преодоление механических потерь в двигателе, привода вспомогательного оборудования, потерь в трансмиссии, сопротивления качению и аэродинамического сопротивления соответственно

6×4 и двухосного полуприцепа в зависимости от скорости движения по цементобетонному шоссе. Видно, что затраты топлива на преодоление аэродинамического сопротивления автопоезда являются одними из основных, а при движении с высокими скоростями — преобладающими. Все это позволяет считать одним из перспективных направлений повышения топливной экономичности автопоездов, типичным для которых является движение с высокими скоростями, снижение их аэродинамического сопротивления.

Анализ взаимодействия грузового автомобиля (автопоезда) с воздушной средой показывает, что основными составляющими аэродинамического сопротивления являются сопротивление, определяемое суммарной площадью лобовой поверхности (лобовое сопротивление); сопротивление, связанное с взаимодействием воздушных потоков с нижней частью автомобиля (элементами трансмиссии и ходовой части) и сопротивление, определяемое наличием обширных зон отрицательных давлений, возникающих за кабиной и кузовом. Поэтому проводящиеся в настоящее время исследования по снижению аэродинамического сопротивления, в частности за счет внешних аэродинамических устройств, направлены в первую очередь на уменьшение лобового сопротивления и упорядочение взаимодействия поверхностей автомобиля (автопоезда) с обтекающими их воздушными потоками. К числу наиболее распространенных внешних аэродинамических устройств относятся лобовые обтекатели, устанавливаемые на крыше кабины. Использование такого обтекателя позволяет направить поток воздуха, проходящий выше кабины, на крышу и боковые стенки кузова, что значительно уменьшает лобовое сопротивление его передней стенки, возвышающейся над кабиной.

Наиболее распространенными являются щитовые обтекатели, устанавливаемые под определенным углом наклона на крыше кабины. Кроме того, используются различные объемные обтекатели. Экраны щитовых обтекателей и объемные обтекатели изготавливаются из пластмассы. Получили распространение так называемые вихревые стабилизаторы, устанавливаемые на передней стенке полуприцепа. Использование вихревого стабилизатора позволяет при боковом ветре, что является типичным во время движения в реальных дорожных условиях, устранить эффект возникновения с подветренной стороны дополнительной к передней стенке полуприцепа лобовой площади и уменьшить аэродинамическое сопротивление автопоезда. Получают распространение обтекатели, устанавливаемые на передней стенке полуприцепа, так называемые носовые конусы и т. д. Разработаны и используются другие аэродинамические устройства, подробное описание которых приведено в работе [7].

Проведенный патентный поиск показал, что в настоящее время большинство стран с развитым грузовым автомобилестроением имеют свои, разработанные на уровне изобретения устройства для снижения аэродинамического сопротивления грузовых автомобилей и автопоездов. Поэтому одной из главных задач исследований ста-

ло создание отечественных патентозащищенных конструкций аэродинамических обтекателей.

С этой целью НАМИ совместно с БелавтоМАЗ разработаны и испытаны несколько устройств для снижения аэродинамического сопротивления [2]. Объектами исследований были пять щитовых и два объемных обтекателя, устанавливаемых на крыше кабины, вертикальный рассекатель и обтекатель, устанавливаемые на передней стенке полуприцепа, и нижний обтекатель на бампере, которые испытывались соответственно: на магистральном седельном автопоезде МАЗ типа 10×4 и грузовом автомобиле МАЗ типа 6×2, предназначенном для работы на дорогах группы А, в том числе в составе прицепного автопоезда, с высокими скоростями движения.

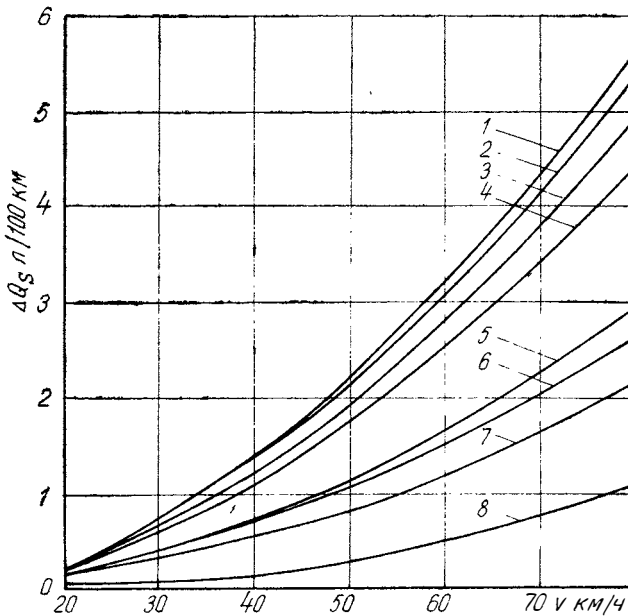


Рис. 2. Зависимость снижения расхода топлива седельного автопоезда МАЗ типа 10×4 полной массой 42 т за счет установки различных аэродинамических устройств от скорости движения:

1 — щитовой выпуклый сферический обтекатель; 2 — щитовой выпукло-вогнутый цилиндрический обтекатель; 3 — объемный выпукло-вогнутый обтекатель; 4 — щитовой выпуклый цилиндрический обтекатель; 5 — объемный обтекатель типа «призма»; 6 — щитовой плоский обтекатель; 7 — щитовой плоский обтекатель с закругленными краями; 8 — обтекатель на передней стенке полуприцепа

Конструкция щитовых обтекателей плоского, плоского с закругленными боковинами, выпуклого цилиндрического, выпуклого сферического и вогнутого цилиндрического позволяла менять их угол наклона относительно крыши кабины, высоту и место расположения

вдоль кабины. Ширина и высота всех щитовых обтекателей были одинаковыми и составляли 1,8 и 0,8 м соответственно. Оба объемных обтекателя, один вогнуто-выпуклого типа, второй типа «призма», устанавливались на крыше кабины в одном положении, без перемещения. Кроме того, на седельном автопоезде исследовались устанавливаемые на передней стенке полуприцепа объемный выпуклый обтекатель, а также вертикальный рассекатель клиновидного типа.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 2, где показана экономия расхода топлива в л/100 км, достигаемая за счет установки указанных аэродинамических устройств на седельном автопоезде МАЗ типа 10×4 полной массой 42 т при движении его с различными скоростями по цементобетонному шоссе.



Рис. 3. Седельный автопоезд МАЗ типа 10×4, оборудованный щитовым сферическим обтекателем конструкции НАМИ — БелавтоМАЗ на кабине

Из числа обтекателей на крыше кабины лучшим оказался выпуклый сферический щитовой обтекатель (рис. 3) конструкции НАМИ — БелавтоМАЗ, использование которого на седельном автопоезде МАЗ позволило уменьшить его расход топлива при скоростях 40, 60 и 70 км/ч на 1,4; 3,2 и 4,1 л/100 км, или на 3,6; 6,7 и 7,2% соответственно. Установка объемного вогнуто-выпуклого обтекателя снизила расход топлива автопоезда при тех же скоростях на 1,2; 2,8 и 3,8 л/100 км или на 3,2; 5,9 и 6,8% соответственно.

Проведенные исследования позволили оптимизировать применительно к исследовавшемуся седельному автопоезду МАЗ четыре ос-

новых конструктивных параметра щитового обтекателя: ширину, высоту, угол наклона относительно крыши кабины и место расположения на ней.

Установлено, что оптимальными для данного автопоезда являются следующие параметры щитового обтекателя: ширина 1,8 м, высота 0,8 м, угол наклона 50° , расстояние между передними кромками кабины и обтекателя 0,65 м. Для грузового автомобиля МАЗ типа 6 \times 2 с бортовой платформой, крытой тентом, эти параметры щитового обтекателя составляют 1,8 м; 0,8 м; 60° и 0,2 м соответственно.



Рис. 4. Автомобиль МАЗ типа 6 \times 2, оборудованный нижним обтекателем конструкции НАМИ — БелавтоМАЗ

Одной из задач данных исследований было сопоставление рабочих качеств щитового и объемного обтекателей. Результаты исследований, выполненных на седельном автопоезде, как и на грузовом автомобиле МАЗ [4], свидетельствуют о том, что щитовой обтекатель с оптимизированными применительно к конкретному автотранспортному средству указанными основными конструктивными параметрами по эффективности близок к объемному. При этом следует отметить, что щитовой обтекатель универсален, менее материалоемок, проще и технологичнее в изготовлении, имеет значительно меньшие, чем объемный, массу и стоимость.

Исследования показали, что установка на передней стенке полуприцепа вертикального рассекателя обеспечивает при боковом ветре силой 4—5 м/сек дополнительное снижение расхода топлива седельного автопоезда на 1 л/100 км, что позволяет считать перспективным использование рассекателя на отечественных седельных автопоездах.

Наряду с рассмотренными аэродинамическими устройствами проведены исследования нижнего обтекателя, устанавливаемого на бампере грузового автомобиля (автопоезда) (рис. 4). Результаты исследований [1] свидетельствуют об эффективности использования нижнего обтекателя. Так, установка на грузовом автомобиле МАЗ нижнего обтекателя с зазором l между его нижней кромкой и дорогой, равным дорожному просвету автомобиля, позволила снизить расход топлива на 2,7 л/100 км, или на 6,2%, при скорости движения 80 км/ч по цементобетонному шоссе при отсутствии ветра (рис. 5).

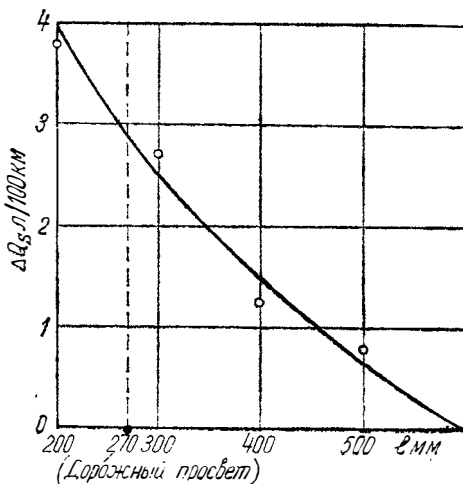


Рис. 5. Зависимость снижения расхода топлива автомобилем МАЗ типа 6×2 от параметра l нижнего обтекателя (l — расстояние от нижней кромки обтекателя до дороги; $v_a = 80$ км/ч)

Использование нижнего обтекателя аналогичной конструкции на легковом автомобиле ВАЗ типа 4×4 обеспечило снижение расхода топлива при скорости 80 и 100 км/ч на 4 и 7,5% соответственно.

Исследованиями авторов установлено, что весьма перспективным является применение аэродинамических обтекателей на развозных автомобилях — фургонах, так как у них вследствие сравнительно небольшой массы величина аэродинамического сопротивления в мощностном балансе преобладает над сопротивлением качению шин уже при скорости движения 50 км/ч. Экспериментами доказано, что установка верхнего обтекателя на автомобиль фургонного типа ГАЗ позволяет при скоростях движения 60 и 80 км/ч снизить расход топлива на 4 и 8% соответственно.

Использование лобовых обтекателей на крыше кабины позволяет повысить динамические качества автотранспортного средства. Исследованиями установлено, что установка сферического щитового обтекателя повышает динамические качества седельного автопоезда МАЗ типа 10×4 полной массой 42 т в диапазоне скоростей 50—95 км/ч на 10%.

Результатом выполненных исследований явились разработанные в отделе автомобилей высокой проходимости, в том числе совместно с Минским автозаводом, несколько устройств для снижения аэродинамического сопротивления отечественных автомобилей и автопоездов, по которым получены авторские свидетельства и положительные решения о выдаче НАМИ и БелавтоМАЗ авторских свидетельств [5; 6].

В настоящее время проводятся работы по уточнению ряда параметров верхнего щитового аэродинамического обтекателя конструкции НАМИ — БелавтоМАЗ для внедрения на новых магистральных автопоездах МАЗ, подготовленных к выпуску Минским автомобильным заводом. Одновременно изучается вопрос об использовании разработанных аэродинамических устройств на автомобилях и автопоездах, эксплуатирующихся в автохозяйствах Минавтотранса, обратившихся к НАМИ с соответствующими запросами.

Выводы

1. Исследованиями в НАМИ установлено, что аэродинамическое сопротивление грузового автомобиля (автопоезда) является, наряду с сопротивлением качению шин, основной составляющей его сопротивления движению, на преодоление которой расходуется значительное количество топлива. При скоростях движения 50 км/ч и выше для автомобиля-фургона и 80 км/ч и выше для автопоезда аэродинамическое сопротивление становится преобладающим над остальными составляющими сопротивления движению. Все это позволяет считать работы по снижению аэродинамического сопротивления одним из перспективных направлений повышения топливной экономичности грузовых автомобилей и автопоездов.

2. Результаты проведенных в НАМИ исследований по проблеме снижения аэродинамического сопротивления показывают, что использование внешних аэродинамических устройств позволяет заметно повысить топливную экономичность грузовых автомобилей и автопоездов, при этом улучшаются их динамические качества.

3. Наиболее перспективным является использование устройств для снижения аэродинамического сопротивления, устанавливаемых на крыше кабины, на передней стенке полуприцепа и на бампере под кабиной.

4. Наряду с автопоездами и одиночными автомобилями большой грузоподъемности значительный эффект может дать установка аэродинамических устройств на крыше кабины развозных автомобилей-фургонов, у которых удельный вес аэродинамического сопротивления в мощностном балансе особенно значителен.

5. Установлено, что щитовой обтекатель при правильно выбранных, оптимальных для данного автотранспортного средства, ширине и высоте обтекателя, угле его наклона и месте расположения на

кабине по эффективности близок к объемному. Из числа испытанных аэродинамических устройств на кабине лучшим является выпуклый сферический щитовой обтекатель.

6. Направлением дальнейших исследований должны явиться работы по снижению аэродинамического сопротивления за счет устройств, устанавливаемых на передней и задней стенках полуприцепов и автомобилей фургонного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий М. С., Беленький Ю. Ю., Писарчик В. В., Евграфов А. Н., Медведев Е. Ф., Московкин В. В. Исследование возможностей повышения топливной экономичности грузового автомобиля за счет использования нижнего обтекателя. ЭИ «Конструкции автомобилей», № 4. М., НИИНавтопром, 1979.

2. Высоцкий М. С., Беленький Ю. Ю., Писарчик В. В., Евграфов А. Н., Медведев Е. Ф., Московкин В. В., Петрушов В. А. Экспериментальное исследование возможностей повышения топливной экономичности седельного автопоезда. «Автомобильная промышленность», 1980, № 6

3. Евграфов А. Н., Медведев Е. Ф., Московкин В. В. Влияние ряда конструктивных и эксплуатационных факторов на аэродинамическое сопротивление грузовых автомобилей и автопоездов. ЭИ «Конструкции автомобилей», № 7. М., НИИНавтопром, 1978.

4. Евграфов А. Н., Медведев Е. Ф., Московкин В. В., Петрушов В. А. Возможность повышения топливной экономичности грузового автомобиля за счет использования лобового дефлектора. «Автомобильная промышленность», 1978, № 3.

5. Евграфов А. Н., Медведев Е. Ф., Московкин В. В., Петрушов В. А. Обтекатель транспортного средства. Авт. свид. № 673517. Бюлл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», № 26, 1979.

6. Евграфов А. Н., Высоцкий М. С., Беленький Ю. Ю., Демидович И. Ф., Зеленин Ю. Л., Медведев Е. Ф., Московкин В. В., Петрушов В. А., Писарчик В. В., Титович А. И. Обтекатель кузова транспортного средства. Авт. свид. № 747765. Бюлл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», № 26, 1980.

7. Московкин В. В., Евграфов А. Н., Петрушов В. А. Аэродинамическое сопротивление грузовых автомобилей и автопоездов и его влияние на топливную экономичность. М., НИИНавтопром, 1978.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЛОКИРОВКИ МЕЖКОЛЕСНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ АВТОМОБИЛЯ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Дифференциалы с повышенными блокирующими свойствами автоматического действия (самоблокирующиеся дифференциалы) получают на автомобилях высокой проходимости все большее распространение [15]. Вместе с тем вопрос о выборе рациональных значений коэффициентов блокировки k_6 таких дифференциалов по-прежнему остается одним из наиболее спорных ($k_6 = \frac{M_{к'}}{M_{к''}}$, где индекс' относится к отстающему колесу моста, индекс'' — к забегающему; $M_{к}$ — крутящий момент, подведенный к колесу).

Значения k_6 , рекомендуемые различными исследователями, составляют от 1,5 до бесконечности [1; 3—5; 8—10; 13], существенно отличаются по блокирующим свойствам и межколесные дифференциалы, выпускаемые серийно (ГАЗ — $k_6 = 4$, МАЗ — $k_6 = 1,7$) или разрабатываемые автомобильными заводами. Одной из причин этого, по-видимому, является различие в объектах и условиях исследования.

Данная работа имеет целью изложить некоторые предложения по уточнению значений k_6 для автомобилей высокой проходимости, основывающиеся на проведенных экспериментальных исследованиях.

Основным достоинством самоблокирующихся межколесных дифференциалов является их положительное влияние на тяговые качества и проходимость автомобиля при движении в тяжелых дорожных условиях, где силы сцепления правого и левого ведущих колес с опорной поверхностью неодинаковы. В этих условиях максимально возможное повышение тяговых качеств автомобиля обеспечивает привод, исключаящий раздельное буксование ведущих колес.

К числу положительных последствий от установки самоблокирующихся дифференциалов относится также и улучшение устойчивости прямолинейного движения при небольших значениях коэффициентов блокировки [6]. Вместе с тем влияние повышенных блокирующих свойств межколесных дифференциалов на расход топлива автомобилем при движении по сухим дорогам с ровным твердым покрытием практически неощутимо в пределах по крайней мере до значений коэффициента блокировки 4—5 [11].

С другой стороны, повышение значений k_6 может приводить к определенным перегрузкам элементов трансмиссии. Наибольшую перегрузку трансмиссии создают механизмы свободного хода и принудительной блокировки межколесных дифференциалов, для которых $k_6 = \infty$. При достаточно высоких значениях k_6 самоблокирующиеся дифференциалы могут снижать управляемость автомобиля на повороте из-за возникновения противополоворачивающего момента. Данный вопрос частично изучался еще Е. А. Чудаковым [14], но до настоящего времени не получил однозначного решения [4; 7; 9; 13]. Например, если применение дифференциалов повышенного трения с $k_6 = 10$ на автомобиле типа 4×2 практически не снижало управляемости [13], то при использовании аналогичного механизма на трехосном полноприводном автомобиле с высоким уровнем проходимости (в среднем и заднем мостах) имело место существенное уменьшение скорости движения на скользких дорогах, особенно в гололед.

Для выбора значения коэффициента блокировки межколесного дифференциала, которое, удовлетворяя требованию повышения тяговых качеств и проходимости автомобиля, в подавляющем большинстве условий движения является предпочтительным с точки зрения управляемости, наиболее целесообразно исходить из следующего выражения k_6 :

$$k_6 = \frac{P_{к'}' + P_f'}{P_{к''}'' + P_f''}, \quad (1)$$

где $P_{к'}$ — продольная сила колеса;
 P_f — сила сопротивления качению.

Если нормальные нагрузки на колеса равны ($G_{к'}' = G_{к''}''$), то при полной реализации сцепных качеств колес с дорогой имеем

$$k_6 = \frac{\varphi' + f_{к'}'}{\varphi'' + f_{к''}''}, \quad (2)$$

где φ — коэффициент сцепления;
 f — коэффициент сопротивления качению колеса.

Многие исследователи [1; 3; 4; 8] упрощают это выражение до вида:

$$k_6 = \frac{P_{к\max}'}{P_{к\max}''} = \frac{\varphi'}{\varphi''}, \quad (3)$$

считая влияние величины потерь на качение пренебрежимо малым.

Расчеты показывают, что ошибка от такого допущения может быть весьма значительной. Так, например, при $\varphi' = 0,8$ (сухой асфальтобетон), $\varphi'' = 0,1$ (гладкий лед) и $f_k = 0,02$ (поскольку это значение часто фигурирует в приближенных расчетах потерь на качение колес по ровным твердым дорогам) по формуле (3) получаем $k_6 = 8$, а по более точному выражению (2) $k_6 = 6,83$, т. е. ошибка, приводящая к завышению соответствующих рекомендаций, составит 17%. При более характерных для тяжелых дорожных условий значениях $f_k = 0,1 - 0,3$ величина этой ошибки может достигать 40—60%. Это подтверждается экспериментальными исследованиями, при которых было выявлено, что у дифференциала с высоким блокирующими свойствами ($k_6 = 10$) отношение $\frac{P_{к'}}{P_{к''}}$ превышает коэффициент блокировки более, чем вдвое, достигая 21—24.

Формула (2) приводит к выводу, что в условиях движения по деформируемому грунту, где сопротивление качению относительно велико, требования к блокирующим свойствам дифференциала с точки зрения повышения тяговых качеств автомобиля снижаются. Эта формула, однако, правомерна для условий равенства нормальных нагрузок на левое и правое колеса ведущего моста. Для условий движения с боковым креном, неблагоприятных с точки зрения проходимости автомобиля, формула (1) может быть приведена к следующему виду:

$$k_6 = m \frac{\varphi' + f_{к'}}{\varphi'' + f_{к''}}, \quad (1a)$$

где $m = \frac{G_{к'}}{G_{к''}}$ — коэффициент перераспределения веса по колесам, вычисляемый по достаточно очевидной формуле:

$$m = \frac{\cos^2 \alpha + \frac{2h_g}{B} \sin \alpha}{\cos^2 \alpha - \frac{2h_g}{B} \sin \alpha},$$

где α — угол бокового крена;

h_g — высота расположения центра тяжести автомобиля;

B — ширина колеи.

Испытания показали, что у современных полноприводных автомобилей (B — около 2 м; $h_g = 1,0 - 1,3$ м) практически предельный угол бокового крена в реальных условиях движения по тяжелым дорогам и бездорожью находится в пределах 9—14°, что соответствует коэффициенту перераспределения веса 1,5—2. С другой стороны, в рассматриваемых условиях весьма редки случаи, когда соотношение коэффициентов сцепления под левым и правым колесами автомобиля достигает 7—8 (твердая сухая дорога — лед). По результатам измерений, в реальных условиях движения по грунтовым поверхностям это соотношение не превышает величины 3—4,

что согласуется с данными работы [10]; при этом максимальный коэффициент сцепления редко превышает значения 0,5—0,6.

Если вышеуказанные опытные данные использовать в расчетах по формуле (1а), задавшись с целью упрощения одинаковыми средними значениями $f_k' \approx f_k'' \approx 0,1$, то получим $k_6 = 3 \div 6$.

Данные значения относятся к автомобилю высокой проходимости средней грузоподъемности. Для автомобилей более высокой грузоподъемности значение k_6 может быть больше из-за влияния обычно более высокого расположения центра тяжести.

Представляет интерес мнение американских исследователей [17], утверждающих, что использование коэффициента блокировки, равного 3, охватывает 80% дорожных условий, равного 5—94%. Материалы работы [16] позволяют полагать, что коэффициент блокировки межколесных дифференциалов с дисками трения, нашедших широкое применение на американских многоприводных автомобилях [15], редко превышает 3. Исследования [2] показывают, что для автомобилей типа 6×6 грузоподъемностью 7—8 т с односкатной ошиновкой колес величина коэффициента блокировки межколесных дифференциалов, равная 2,0, недостаточна. Испытания, проведенные М. С. Еремеевым, В. И. Певунчиковым и автором, показали, что у автомобилей 6×6 грузоподъемностью 5 т с высоким уровнем проходимости применение межколесных дифференциалов с коэффициентом блокировки 4 (в среднем и заднем мостах) не привело к сколько-нибудь заметному снижению тяговых качеств и проходимости по сравнению с вариантом того же автомобиля, имеющего $k_6 = 10$.

Для автомобилей с шинами высокого давления односкатного и двухскатного расположения сделан вывод о целесообразности использования межколесных дифференциалов с коэффициентом блокировки 9—10 [13].

Из вышеизложенного следует, что существенное влияние на выбор значения k_6 оказывает общий уровень проходимости тех автомобилей, на которые предполагается устанавливать дифференциалы с повышенными блокирующими свойствами.

Очевидно, что для автомобилей, имеющих высокий уровень проходимости, обеспечиваемый наличием шин регулируемого давления с высокими грунтозацепами, большими дорожными просветами, высокой удельной мощностью, способствующей динамическому преодолению тяжелых участков дороги, в особенности при увеличении числа ведущих осей, требования к блокирующим свойствам межколесных дифференциалов могут быть ниже, чем в тех же дорожных условиях для автомобилей с низким уровнем проходимости.

В частности, один из видов движения — проезд кюветов и канав под углом — для двухосных автомобилей с низким уровнем проходимости обычно весьма затруднителен из-за разгрузки одного из колес ведущего моста, в связи с чем высокие блокирующие свойства межколесного дифференциала оказывают решающее воздействие на проходимость этих автомобилей в данных условиях. В то же

время преодоления указанных видов препятствий трех- и четырехосными автомобилями даже при наличии дифференциалов малого трения не вызывает осложнений. Тот же качественный результат имели эксперименты при движении с боковым креном колесами одной стороны по размокшему кювету.

С другой стороны, на автомобилях с высоким уровнем проходимости и подвижности логично ожидать более существенного проявления отрицательного воздействия блокирующих свойств дифференциалов на управляемость из-за более высоких скоростей движения на скользких дорогах (выше центробежные силы на повороте), повышения противоповорачивающего момента с увеличением числа ведущих мостов (больше число межколесных дифференциалов), возможности эффективно работать в условиях низких коэффициентов сцепления шин с дорогой, где автомобили с низким уровнем проходимости неработоспособны даже при полной блокировке межколесных дифференциалов. Очевидно, что безопасность движения в указанных условиях может быть обеспечена, если блокирующие свойства межколесных дифференциалов не будут завышены.

Рассмотрим возможности установления взаимосвязей величины коэффициента блокировки межколесного дифференциала и скорости движения автомобиля на повороте. Наиболее просто это сделать вначале на примере автомобиля типа 4×2 .

На практике потеря управляемости, вызванная установкой дифференциалов повышенного трения, наблюдается при входе в поворот (автомобиль продолжает двигаться прямолинейно, несмотря на повернутые на предельный угол управляемые колеса, которые при этом воспринимают максимально допустимые по сцеплению боковые реакции, двигаясь «юзом»). Из-за сравнительного характера исследований автомобилей с теми и другими дифференциалами (все остальные параметры автомобилей сохраняются) влияние дифференциалов с приемлемой точностью может рассматриваться при установившихся скорости движения и угле поворота управляемых колес. Влияние увода также может не учитываться, так как его проявление практически одинаково при дифференциалах любого типа.

При криволинейном движении с некоторой критической скоростью, максимально возможной по условию управляемости, т. е. по условию сцепления с дорогой управляемых колес, повернутых на определенный угол, автомобиль 4×2 , имеющий коэффициент блокировки дифференциала более 1, будет при прочих равных условиях двигаться медленнее, чем автомобиль с дифференциалом, не имеющим внутреннего трения ($k_6 = 1$).

Условие одинаковой управляемости этих автомобилей (с задним ведущим мостом) можно записать в виде равенства боковых реакций на колесах переднего моста:

$$N_{1(k_6=1)} = N_{1(k_6>1)} + Y_0, \quad (4)$$

где $N_1 = \frac{G_a v^2 l_2}{gRL}$ — боковая реакция, вызываемая частью составляющей центробежной силы, приходящейся на передний мост;

$Y_0 = (R'_{x_2} - R''_{x_2}) \frac{B}{2L}$ — боковая реакция, возникающая из-за неравенства продольных реакций R'_{x_2} и R''_{x_2} на ведущих колесах;

G_a — полный вес автомобиля;

g — ускорение силы тяжести;

v — скорость движения автомобиля;

l_2 — расстояние от центра тяжести до заднего моста;

R — радиус поворота по средней точке переднего моста;

L — база автомобиля.

При полном использовании сил сцепления внутреннего по отношению к центру поворота заднего колеса с опорной поверхностью имеем $R'_{x_2} = G'_{k_2} \varphi'$. Последующее аналитическое решение весьма громоздко, если не сделать некоторых допущений. В отличие от дорожных условий, в которых дифференциалы повышенного трения должны обеспечить реализацию максимальных сил сцепления колес с опорной поверхностью, при потере управляемости нередки случаи, когда $\varphi' \approx \varphi'' \approx \varphi$; $G'_{k_2} = \frac{G_{m_2}}{2}$, где G_{m_2} — вес, приходящийся на задний мост. Если же принять $r'_{k_2} = r''_{k_2} = r_{k_2}$, то после преобразований получаем:

$$Y_0 = -\frac{G_{m_2}(\varphi + f_k) B}{4L} \cdot \frac{k_\delta - 1}{k_\delta}. \quad (5)$$

Раскроем условие (4):

$$\frac{G_a v_{(k_\delta=1)}^2 l_2}{gRL} = \frac{G_a v_{(k_\delta>1)}^2 l_2}{gRL} + \frac{G_{m_2}(\varphi + f_k) B}{4L} \cdot \frac{k_\delta - 1}{k_\delta};$$

$$v_{(k_\delta=1)}^2 - v_{(k_\delta>1)}^2 = \frac{(1-n)(\varphi + f_k) B g R}{4l_2} \cdot \frac{k_\delta - 1}{k_\delta},$$

где $n = \frac{G_{m_1}}{G_a}$ — коэффициент, характеризующий распределение веса по мостам автомобиля.

Относительное снижение скорости движения на повороте δv автомобиля 4×2 , имеющего $k_\delta > 1$, в сравнении с автомобилем, у которого $k_\delta = 1$, составит:

$$\delta v = \frac{v_{(k_\delta=1)} - v_{(k_\delta>1)}}{v_{(k_\delta=1)}} 100\% =$$

$$= 1 - \frac{\sqrt{v_{(k_6=1)}^2 - \frac{(1-n)(\varphi + f_k) B g R (k_6 - 1)}{4l_2 k_6}}}{v_{(k_6=1)}} \quad (6)$$

На рисунке *a* представлен пример построенных по формуле (6) графических зависимостей δv в функции значения коэффициента блокировки дифференциала для коэффициентов сцепления $\varphi=0,1$; $0,3$; $0,5$ и конкретных параметров автомобиля. По данным Я. Е. Фаробина [12], для грунтовых дорог среднепересеченной местности

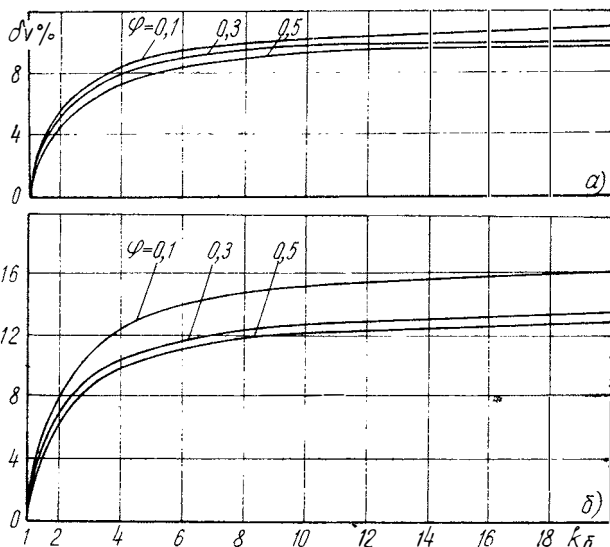


Рисунок. Пример расчетной зависимости относительного снижения скорости криволинейного движения автомобиля с межколесными дифференциалами повышенного трения в функции величины коэффициента блокировки:
a — автомобиль 4×2; *б* — автомобиль 4×4

предельные радиусы кривизны составляют не менее 24—30 м, в связи с чем в расчетах принято $R=30$ м. Другие исходные параметры для расчета: $L=4$ м; $B=2$ м; $l_2=2$ м; $f_k=0,02$; $h_g=1$ м. Величина $v_{(k_6=1)}$ рассчитывалась, исходя из условия сцепления управляемых колес с дорогой. Из рисунка *a* следует, что с увеличением значения k_6 величина δv вначале резко возрастает, затем стабилизируется. Величина коэффициента сцепления влияет на δv меньше, чем этого можно было ожидать. То, что в реальных условиях движения воздействие дифференциалов повышенного трения на управляемость автомобиля ощущается в основном на дорогах с малым φ (в особенности в гололед), вполне объяснимо: на дорогах с высоким значением φ скорость, предельная по условию управляемости,

обычно не достигается из-за других ограничений, в первую очередь — по боковому опрокидыванию.

Условие одинаковой управляемости автомобилей с двумя ведущими мостами (типа 4×4) имеет следующий вид:

$$N_{1(k_6=1)} = N_{1(k_6>1)} + Y_{01} + Y_{02}, \quad (7)$$

где Y_{01} , Y_{02} — силы, возникающие из-за неравенства продольных реакций на колесах соответственно переднего и заднего ведущих мостов.

Наиболее опасным с точки зрения управляемости автомобиля является случай, когда внутренние по отношению к центру поворота колеса каждого из мостов реализуют максимальную силу тяги по сцеплению. В этом случае силы Y_{01} , Y_{02} максимальны, выражения для них после преобразований, аналогичных сделанным при выводе формулы (5), таковы:

$$Y_{01} = \frac{G_{M1}(\varphi + f_{K1})B}{4L} \cdot \frac{k_{61} - 1}{k_{61}}; \quad (8)$$

$$Y_{02} = \frac{G_{M2}(\varphi + f_{K2})B}{4L} \cdot \frac{k_{62} - 1}{k_{62}}, \quad (9)$$

где k_{61} , k_{62} — коэффициенты блокировки межколесных дифференциалов соответственно переднего и заднего мостов.

После подстановки выражений (8) и (9) в формулу (7) и преобразований получаем следующие уравнения:

$$v_{(k_6=1)}^2 - v_{(k_6>1)}^2 = \frac{BgR}{4I_2} \left[\frac{n(\varphi + f_{K1})(k_{61} - 1)}{k_{61}} + \frac{(1-n)(\varphi + f_{K2})(k_{62} - 1)}{k_{62}} \right];$$

$$\delta v = \frac{v_{(k_6=1)} - v_{(k_6>1)}}{v_{(k_6=1)}} 100\% = 1 -$$

$$\frac{\sqrt{v_{(k_6=1)}^2 - \frac{BgR}{4I_2} \left[\frac{n(\varphi + f_{K1})(k_{61} - 1)}{k_{61}} + \frac{(1-n)(\varphi + f_{K2})(k_{62} - 1)}{k_{62}} \right]}}{v_{(k_6=1)}}. \quad (10)$$

Так как колеса управляемого моста передают тяговое усилие P_{M1} , то воспринимаемая ими на повороте максимальная боковая сила Y_1 вычисляется по формуле

$$Y_1 = \sqrt{(G_{M1}\varphi)^2 - (P_{M1})^2} = \sqrt{(nG_a\varphi)^2 - \left(\frac{M_{M1}}{r_{K1}} - f_{K1}nG_a\right)^2}. \quad (11)$$

Способы расчета крутящего момента $M_{м1}$ с учетом потерь от блокирования привода известны, поэтому выражение (11) может использоваться для определения скорости $v_{(k_6=1)}$.

Если $f_{к1} = f_{к2} = f_k$, $k_{б1} = k_{б2} = k_б$, то выражение (10) значительно упрощается:

$$\delta v = 1 - \frac{\sqrt{v_{(k_6=1)}^2 - \frac{BgR(\varphi + f_k)(k_б - 1)}{4l_2k_б}}}{v_{(k_6=1)}}. \quad (12)$$

На рисунке б построены зависимости $\delta v = f(k_б)$, рассчитанные по формуле (12) для исходных параметров: $G_a = 6000$ кГ; $L = 4$ м; $B = 2$ м; $l_2 = 2$ м; $f_k = 0,02$; $R = 30$ м; $P_{м1} = 100$ кГ; $h_g = 1$ м; $\varphi = 0,1; 0,3; 0,5$. Скорость движения на повороте автомобиля с указанными параметрами и дифференциалами повышенного трения при $R = 30$ м и $\varphi = 0,1$ может уменьшаться на величину, в 1,5 раза большую, чем у автомобиля 4×2 (см. рисунок а). Цифровые значения на рисунке имеют, разумеется, условный характер и приведены лишь для иллюстрации качественного влияния величин $k_б$, φ и колесной формулы автомобиля. Нетрудно установить здесь также, как повысятся цифровые значения δv , например, при уменьшении ширины колеи или радиуса поворота (условия движения по городу) и др.

Трехосный автомобиль 6×6 со сближенными средним и задним мостами (схема 1—2) может с достаточной степенью точности рассматриваться в данном случае как автомобиль 4×4 в связи с близким расположением кинематического центра поворота к поперечной оси тележки и применением в обоих мостах тележки дифференциалов с одинаковым коэффициентом блокировки. Поэтому для анализа управляемости автомобиля 6×6 с дифференциалами повышенного трения возможно применение формул (10) и (12), в которых l_2 будет обозначать расстояние от центра тяжести до оси тележки. Из структуры данных формул следует, что трехосный автомобиль, имеющий обычно в сравнении с двухосным автомобилем меньшую долю загрузки переднего моста (значение n) и меньшую величину l_2 , при прочих равных условиях имеет худшие качества управляемости.

Формулы (10) и (12) могут быть использованы и при анализе поворота четырехосного автомобиля 8×8 со схемой расположения колес по базе 2—2 и двумя передними управляемыми мостами.

Изменения в некоторых параметрах здесь аналогичны варианту с трехосным автомобилем и вполне очевидны.

Экспериментальные исследования показали, что предлагаемые зависимости могут быть использованы для оценки изменения скоростей движения автомобилей с дифференциалами повышенного трения путем расчетного определения их снижения на закруглениях

дорог, при обгоне и т. п., ориентируясь на известные статистические или регламентированные данные по предельным и средним радиусам кривизны траектории движения в реальных дорожных условиях.

Автором выполнен ряд экспериментов по оценке влияния повышенных блокирующих свойств дифференциалов на скорость движения по скользким дорогам. Автомобиль 6×6 с дифференциалами повышенного трения в мостах задней тележки ($k_6 = 10$) преодолевал контрольные маршруты зимних дорог, свободные от другого транспорта, медленнее, чем автомобиль с коническими дифференциалами малого трения. В ходе заезда маршрут проходилась несколькими раз, причем после каждого круга водители менялись автомобилями для исключения влияния квалификации водителя на конечные результаты. Различие в скоростях движения составило на асфальтобетонном шоссе в гололед 5%, на заснеженных грунтовых дорогах — 3%. Данные показатели оказались близкими к расчетным, полученным с использованием формулы (12). Второй автомобиль из-за более частого включения высших передач показал несколько меньшие расходы топлива — на 3—5% в условиях шоссе и до 10% в условиях грунтовых дорог.

В заключение приводятся некоторые практические соображения в части оценочных показателей, используемых при исследовании влияния свойств самоблокирующихся межколесных дифференциалов на эксплуатационные качества автомобилей. Практика показала, что в этих исследованиях первостепенное внимание должно уделяться не только тяговым, но и скоростным показателям автомобилей, тем более, что влияние на них свойств дифференциала может быть неодинаковым. Например, при испытании двух одинаковых автомобилей, оборудованных дифференциалами с различными блокирующими свойствами, соотношение их максимальных сил тяги на крюке на сухом сыпучем песке составило 1,22—1,75, а отношение предельных скоростей движения с прицепом — всего 1,02. В других условиях — на размокшей суглинистой дороге — наоборот, разницу в тяговых показателях не удалось уловить из-за примерно одинаковых сил сцепления колес с грунтом и равномерного распределения веса по сторонам автомобиля во время опыта на коротком участке дороги, тогда как отличие в скоростях движения за проход по всей трассе оказалось существенным (17%) из-за положительного влияния дифференциалов повышенного трения в моменты движения с боковым креном и в глубокой колее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безбородова Г. Б., Задорожный В. И. Влияние дифференциальных механизмов на тягово-сцепные качества полноприводных автомобилей с механической силовой передачей. В сб.: «Автомобильный транспорт», № 9. Киев, «Техника», 1972.
2. Гредескул А. Б., Коротков Л. И., Малышев А. А. Испытание автомобилей, оборудованных дифференциалами с дисковыми блокирующими муфтами. «Автомобильная промышленность», 1970, № 3.

3. Диваков Н. В. Критерии оценки автомобильных дифференциалов. «Автомобильная промышленность», 1960, № 6.
 4. Дьяков И. Я., Носенков М. А. Влияние самоблокирующегося дифференциала на устойчивость грузового автомобиля типа 4×2 против заноса. «Автомобильная промышленность», 1966, № 5.
 5. Ключко Н. Ф. Сила тяги у автомобилей с одним или несколькими ведущими мостами. «Автомобильная промышленность», 1963, № 8.
 6. Коротков Л. И. О влиянии дифференциала в ведущей оси на устойчивость автомобиля в прямолинейном движении. «Автомобильная промышленность», 1961, № 11.
 7. Коротоношко Н. И., Шуклин С. А. Влияние конструкций шин и самоблокирующихся дифференциалов на проходимость автомобиля «Урал-375». «Автомобильная промышленность», 1968, № 7.
 8. Левин И. А. О рациональной степени блокировки дифференциалов многоприводного автомобиля. «Автомобильная промышленность», 1961, № 3.
 9. Лефаров А. Х. Дифференциалы автомобилей и тягачей. М., «Машиностроение», 1972.
 10. Лефаров А. Х. О применении блокирующихся дифференциалов. «Автомобильная промышленность», 1962, № 11.
 11. Пирковский Ю. В., Еремеев М. С. Влияние степени блокировки дифференциала на сопротивление качению автомобиля. «Автомобильная промышленность», 1968, № 4.
 12. Фаробин Я. Е. Теория поворота транспортных машин. М., «Машиностроение», 1970.
 13. Хлебников А. М., Крестовников Г. А., Лунев И. С. Исследование механизмов блокировки дифференциалов. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 4, М., 1958.
 14. Чудаков Е. А. Устойчивость автомобиля при самоблокирующемся дифференциале. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1942.
 15. Шуклин С. А. Конструкции привода к ведущим колесам современных многоприводных автомобилей. М., НИИНавтопром, 1971.
 16. Naas R. H., Manwaring R. C. Development of limited slip differential. SAE Preprint, № 710610, 1971.
 17. Lewis R. P., O'Brien L. I. Limited slip differentials. «SAE Transactions». Volume 67, 1959.
-

УДК 629.113.002.3

Работы НАМИ по решению проблемы снижения материалоемкости автомобилей и применения новых материалов. Лунев И. С. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181 М., 1980, стр. 3—6.

Рассмотрены основные направления работ по снижению материалоемкости за счет применения новых материалов, экономический эффект, который при этом обеспечивается. Даны конкретные примеры работ НАМИ с заводами автомобильной промышленности, черной металлургии, химической промышленности.

УДК 629.113.012.853-19

Пути снижения расхода рессорного проката и повышения долговечности автомобильных листовых рессор. Прутчиков О. К. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181. М., 1980, стр. 7—13.

Отмечена необходимость комплексного системного подхода к решению проблемы сокращения расхода рессорного проката, заключающегося в наиболее эффективном одновременном и параллельном использовании всех имеющихся возможностей и резервов. В свете этого рекомендуются конкретные пути снижения расхода рессорного проката и повышения долговечности автомобильных листовых рессор.

УДК 629.113:620.197

Оценка эффективности защиты автомобилей от воздействия коррозии. Безверхий С. Ф., Перерво П. Р., Мищенков Н. А. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181. М., 1980, стр. 14—18.

Подчеркивается актуальность улучшения защиты автомобилей от воздействия коррозии. Сообщаются основные методические особенности проведения испытаний автомобилей на коррозионную стойкость при помощи коррозионной камеры, построенной на Автополигоне НАМИ, и комплекса специальных дорог. Разработанная специалистами полигона методика позволяет в 10—15 раз сократить сроки испытаний.

Рисунков 2. Библиографий 2.

УДК 621.43-233.13:621.789

Повышение эффективности упрочнения деталей автомобилей температурными остаточными напряжениями. Рудницкий Н. М. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181. М., 1980, стр. 19—27.

Изучено влияние температурных остаточных напряжений на предел выносливости деталей при разрушении, контролируемом зарождением и распространением усталостных трещин. Показаны предельные возможности такого упрочнения.

Описаны разработанные в НАМИ способы термической обработки, при которых достигается повышение механических свойств используемого материала и одновременно в наружных слоях деталей создаются сжимающие остаточные напряжения. Предел выносливости упрочняемых деталей при этом увеличивается в 3,3 раза.

Таблиц 2. Рисунков 4 Библиографий 4.

Применение высокопрочных чугунов с шаровидным графитом для деталей автомобилей. Левитан М. М., Крючков О. Н., Захаров В. И. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181. М., 1980, стр. 28—38

Приведены результаты исследований свойств высокопрочных чугунов с шаровидным графитом (ВЧШГ) для поршневых колец, коленчатых валов, шатунов, корпусов турбонагнетателей, седел клапанов.

Разработан химический состав ВЧШГ для поршневых колец, изготавливаемых современным способом литья индивидуальных профилейных заготовок. Специальными стендовыми испытаниями установлено, что поршневые кольца из разработанного чугуна находятся на уровне лучших зарубежных образцов.

Проведены исследования свойств литых шатунов из ВЧШГ. Показано, что усталостная прочность шатунов из ВЧШГ, легированного медью (0,7—1,0%), находится на уровне шатунов, изготовленных из стали 40, а после упрочнения дробью повышается на 25 %.

Проведены исследования и разработаны высокопрочные чугуны для корпусов турбонагнетателей и седел клапанов. Приведены химические свойства чугунов.

Исследования свойств ВЧШГ для деталей автомобилей, работающих при низких температурах (кронштейны, ступицы), позволили рекомендовать базовый химический состав чугуна по содержанию основных элементов углерода, кремния, фосфора и марганца.

Таблиц 3 Рисунков 2. Библиографий 16.

Исследование хладостойкости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и его применение для деталей автомобилей. Левитан М. М., Захаров В. И. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181. М., 1980, стр. 39—51.

Проведены исследования и проанализированы лабораторные данные свойств высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) для изготовления автомобильных деталей, работающих в сложных условиях нагружения при пониженных температурах (кронштейны, ступицы и т. п.).

Лабораторные исследования ударной вязкости и хладноломкости ферритного ВЧШГ с переменным содержанием углерода, кремния и фосфора показали, что высокое значение ударной вязкости ($a_n^{20} = 13—15$ кгс·м/см² и $a_n^{-70} = 11—13$ кгс·м/см²) и низкий порог хладноломкости ($T_{50} < \text{минус } 70^\circ\text{C}$) могут быть получены в чугуне с углеродным эквивалентом 3,95—4,2% при сравнительно низком содержании кремния (<2,0%), марганца (<0,4%) и фосфора (<0,03%).

Проведенные исследования позволили рекомендовать ВЧШГ, содержащий 3,3—3,7% углерода, 1,8—2,0% кремния, до 0,4% марганца, до 0,03% фосфора, до 0,01% серы, 0,03—0,05% магния, для изготовления ступиц колес тяжело нагруженных автомобилей (в том числе для работы в районах Крайнего Севера), а также других деталей аналогичного назначения.

Таблиц 1. Рисунков 7. Библиографий 20.

УДК 629.113.072.5.001.5.

Некоторые результаты научно-исследовательских работ по снижению аэродинамического сопротивления автомобилей и автопоездов. Евграфов А. Н., Медведев Е. Ф., Московкин В. В., Петрушов В. А. В сб.: «Труды НАМИ». вып. 181. М., 1980, стр. 52—61.

Рассмотрены результаты исследований аэродинамического сопротивления автомобилей и автопоездов и возможностей его снижения за счет внешних аэродинамических устройств.

Даны значения коэффициентов сопротивления воздуха K для автомобилей и автопоездов различного типа.

Приведены экспериментальные данные по экономии топлива автомобилей и автопоездов за счет использования верхних и нижних обтекателей

Таблиц 1 Рисунков 5. Библиографий 5.

УДК 629.113.028-587.012.3-599

К вопросу о выборе коэффициентов блокировки межколесных дифференциалов автомобиля высокой проходимости. Шуклин С. А. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 181. М., 1980, стр. 62—72.

Выбор блокирующих свойств межколесных дифференциалов должен удовлетворять требованию повышения тяговых качеств и проходимости автомобиля при одновременном сохранении приемлемых качеств управляемости на повороте. Показано влияние перераспределения веса по колесам и реальных величин потерь в шинах и коэффициентов сцепления на выбор блокирующих свойств дифференциалов. Предложены зависимости для расчета снижения скорости движения автомобиля на повороте в функции коэффициента блокировки, радиуса поворота и параметров автомобиля.

Рисунков 1. Библиографий 17.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| И. С. Дунев. Работы НАМИ по решению проблемы снижения материалоемкости автомобилей и применения новых материалов | 3 |
| О. К. Прутчиков. Пути снижения расхода рессорного проката и повышения долговечности автомобильных листовых рессор | 7 |
| С. Ф. Безверхий, П. Р. Перерво, Н. А. Мищенко. Оценка эффективности защиты автомобилей от воздействия коррозии | 14 |
| Н. М. Рудницкий. Повышение эффективности упрочнения деталей автомобилей температурными остаточными напряжениями | 19 |
| М. М. Левитан, О. Н. Крючков, В. И. Захаров. Применение высокопрочных чугунов с шаровидным графитом для деталей автомобилей | 28 |
| М. М. Левитан, В. И. Захаров. Исследование хладостойкости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и его применение для деталей автомобилей | 33 |
| А. Н. Евграфов, Е. Ф. Медведев, В. В. Москвин, В. А. Петрушов. Некоторые результаты научно-исследовательских работ по снижению аэродинамического сопротивления автомобилей и автопоездов | 52 |
| С. А. Шуклин. К вопросу о выборе коэффициентов блокировки межколесных дифференциалов автомобиля высокой проходимости | 62 |
| Рефераты статей | 73 |

Труды НАМИ, вып. 181

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

Ответственный редактор И. С. Лунев

Научные редакторы: А. М. Горелик, Б. М. Енукидзе, В. Д. Зеленова, Г. А. Крестовников,
Е. И. Кривенко, Б. М. Фиттерман

Редактор Т. И. Дегожская

Технический редактор С. М. Печникова

Корректоры: Н. И. Вишнякова, Т. П. Раевская

Л 116241 Подп. к печ. 31.10.80. Форм. бум. 60×90₁₆. Печ. л. 5.

Уч.-изд. л. 1,9. Зак. 519—80 г. Тир. 900. Цена 34 коп.

Типография НАМИ, 125438, Москва, А-438, Автомоторная ул., 2

Цена 34 коп.