УДК 621.785:621.833
УДК 621.745

В.И. Астащенко, Ю.П. Смирнов, С.С. Соловейчик, А.И. Швеёв, Т.В. Швеёва, И.М. Родькин
ФГБОУ ВПО «Камская государственная инженерно-экономическая академия», ОАО «КАМАЗ» г. Набережные Челны, Россия

О РОЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА СТАЛИ В СОЗДАНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ ПРОДУКЦИИ

Показано долевое участие различных этапов металлопередела в накоплении деформации цементованных зубчатых колес. Выявлены колебания по химсоставу, структуре и прокаливаемости стали 20ХГНМТА различного способа производства, используемой для изготовления зубчатых деталей. Предложены решения по термообработке поковок и химико-термической обработке шестерён, позволяющие минимизировать деформацию деталей, повысить площадь пятна контакта между зубьями в зацеплении и стабилизировать его месторасположения и снизить уровень шума на 2-3 дБА при работе ведущего моста грузового автомобиля.
Ключевые слова: *сталь, металлопередел, неоднородность, прокаливаемость, цементация, зубчатое колесо, пятно контакта, уровень шума.*

Введение. Ключевое внимание в машиностроении уделяется созданию надежных машин и механизмов. Актуальность этой задачи бесспорна, так как она напрямую связана с вступлением страны в ВТО, что требует изготовления конкурентоспособной продукции, соответствующей европейским и мировым стандартам в части надёжности, экологичности, удельной грузоподъемности и т.д. Дисперсия по прочности и долговечности деталей при их эксплуатации в значительной степени связана с металлургическим качеством материала и различными отклонениями, создаваемыми на этапах технологического передела металла в деталь, которые в конечном итоге наследуются готовыми изделиями. Перед машиностроительным производством всегда были, есть и будут стоять две основные задачи, а именно: повышение технологичности стали на всем пути преобразования металла в деталь, а также достижение стабильного и максимального комплекса физико-механических свойств изделиями с целью повышения их работоспособности в эксплуатации.

Изготовление большинства деталей предусматривает применение традиционных технологий: пластическая деформация, механическая, термическая и химико-термическая обработки. Однако возможности этих технологий еще далеко не исчерпаны и имеются довольно значимые скрытые резервы и в первую очередь те, которые направлены на конструктивные особенности и точность геометрических размеров детали, показатели структурно-фазового состояния поверхности и сердцевины, формируемые на стадии упрочнения и финишной механической обработке и т.д. Следует заметить, что в формировании потребительских свойств в готовом изделии участвуют не только технологические воздействия при металлопеределе в машиностроительном производстве, но и наследственность состава, свойств и строения сплава от металлургических процессов.

В машиностроении доминирующая роль в повышении ресурса шестерен, плавности работы передачи и снижении уровня шума в зубчатых зацеплениях

отводится конструкторско-технологическому фактору, а именно точности геометрических размеров, чистоте поверхности, стабильности формы, ориентации и площади пятна контакта зубьев в полюсе зацепления сопрягаемых деталей, качеству упрочненного поверхностного слоя и сердцевины и др.

Цель работы – разработка технических и технологических решений в процессе передела металла в деталь, направленных на снижение уровня шума в зубчатых зацеплениях.

Методика работы. Испытанию подвергались ведущие мосты автомобиля «КАМАЗ», укомплектованные упрочненными зубчатыми деталями, изготовленными из стали 20ХГНМТА. Состав стали и содержание химических элементов в ней определяли химико-спектральным методом на анализаторах АН-7529, АН-7560 и микроспектрофотометре марки МФС-51. Контроль твердости проводился по методу Бринеля и Роквелла на приборах ТШ-2М и ТК-2М соответственно. Микротвердость структурных составляющих и упрочненного слоя оценивалась при нагрузке 0,1Н на приборе «Дюримет» (Германия). Для металлографических исследований поковок и упрочненных деталей применяли микроскопы «Неофот-32», «Эпитип-2» (Германия) и анализатор структуры IM-700 с программно-аппаратным комплексом «Видео тест-М» (Япония). Прокаливаемость стали определялась методом торцевой закалки в соответствии с ГОСТ 5657-69. Для химико-термической обработки зубчатых деталей использовали агрегаты ф. «Холкрофт» и ф. «Ipsen».

Оценка шумовой характеристики мостов проводилась на электромашинном динамометре «GPF-11h». Для измерения и записи уровня шума использовали универсальный многоканальный анализатор сигналов 356ОС-Х03 ф. «Brül Kjoer» (Дания). Величина бокового зазора в зубчатом зацеплении замерялась на станке «Глиссон-512». Форму, месторасположение и площадь пятна контакта между зубьями в зацеплении определяли по методу отпечатков, оставленных термоиндикаторной краской на полимерной пленке при контрольной обкатке деталей на станке модели 512 ф. «Глиссон».

Результаты исследований. В процессе работы механизма уровень шума зубчатой передачи в основном зависит от размерной точности деталей, месторасположения и площади пятна контакта между зубьями в зацеплении. В результате контрольных испытаний 122 ведущих мостов с передаточным числом 2,07 автомобиля «КАМАЗ» модельного ряда 6520 выявлено, что уровень шума главных передач колеблется в диапазоне 87-95 дБА (рис. 1). В большинстве случаев уровень шума составлял 90дБА, а запредельный (свыше 91дБА) зафиксирован в 19% случаев. С полным основанием можно утверждать, что отклонение размеров и формы деталей от номинальных, обусловлены неточностью их изготовления при механической обработке и деформацией в процессе окончательной упрочняющей обработки. Следует заметить, что в случае соблюдения условий к жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь», точности оборудования, требований к режущему инструменту и совершенствованию режимов резания можно добиться достаточно высокой точности и стабильности геометрических размеров деталей. Однако, геометрия и размеры детали, сформированные при механической обработке могут существенно изменяться в результате последующей тепловой обработки изделия – происходит их деформация и коробление. Этому явлению, как указывают многие ученые, способствует металлургическое строение и свойства стали, напряженное состояние и наклеп поверхности, созданные на предшествующих стадиях технологического

металлопередела и структурно-фазовые изменения, протекающие непосредственно на этапе упрочняющей обработки.

Сотрудниками НИИТавтопрома [1] была установлена количественная оценка вклада в общую деформацию готовых деталей, которая свидетельствует, что доля деформации, обусловленная механической обработкой составляет ~30% и еще такая же доля приходится на упрочняющую обработку деталей. Недостающие 40% в общей деформации связаны с природой, составом и свойствами металла, технологией изготовления поковок и их термической обработкой (рис. 2).

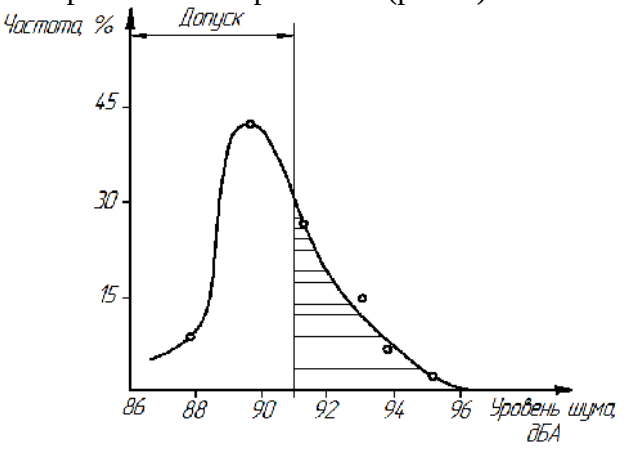


Рис. 1. Частота (%) распределения испытанных ведущих мостов по уровню шума главных передач

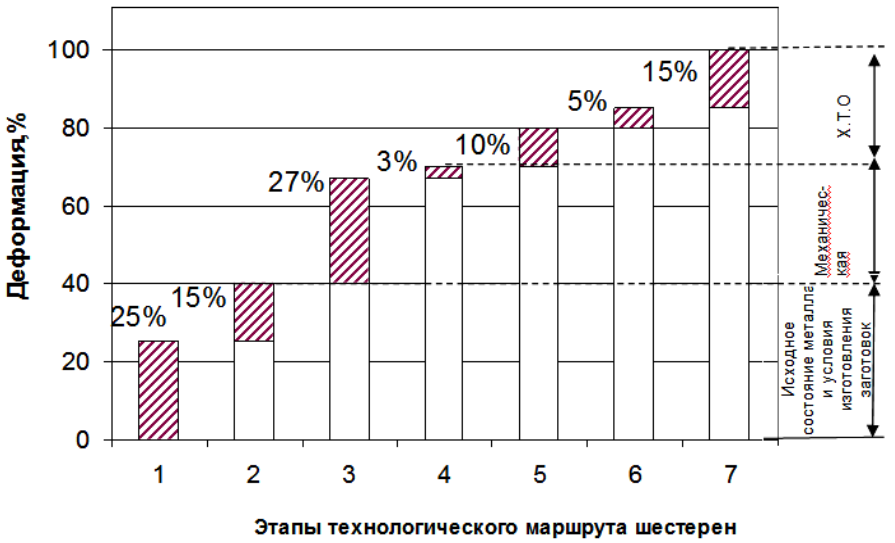


Рис. 2. Накопление деформации цементируемыми деталями в процессе их изготовления: 1 – исходное состояние металла; 2 – технология изготовления заготовок; 3 – технология мезанической обработки; 4 – стадия хранения и транспортировки; 5 – нагрев до температуры насыщения углеродом; 6 – выдержка при цементации; 7 – стадия закалочного охлаждения

Деформация зависит от многих факторов, причем как от тех, которые влияют на нее непосредственно (действуют на стадиях механической и химико-термической

обработок), так и от тех, которые непосредственно не связаны с формированием размеров и формы деталей (химический состав, технология изготовления заготовок и их термическая обработка). Отсюда следует, что склонность будущей детали к деформации формируется на протяжении всего производственного процесса – с поступлением металла (определенного химического состава) на завод, затем на этапах изготовления заготовок и их термической обработки и, наконец, при изготовлении и упрочнении деталей.

Учитывая комплектность сложных систем, подобных двигателю и автомобилю, а также многообразие применяемых металлических материалов поставленная цель – снижение шумовых характеристик, достижима только в случае учета в каждой детали, входящей в изделие, наследственности строения и свойств сплава от металлургических и дополнительно размерного фактора от машиностроительных технологий.

Анализ стали 20ХГНМТА, используемый для изготовления зубчатых деталей, показал ее полное соответствие по химсоставу требованиям нормативных документов (рис. 3). Однако, выявлены существенные колебания по отдельным химическим элементам и оно составляет: по углероду 1,41 раза, кремнию 2,0 раза, никелю 1,37 раза, молибдену 1,42 раза и титану 4,0 раза, а величина прокаливаемости стали находилась в диапазоне $\text{П}\frac{35-46}{9}$ (рис. 4). Наиболее стабильными значениями по прокаливаемости ($\text{П}\frac{35-38}{9}$) обладала сталь производства Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК), что можно объяснить применением высокочистой, исключающей металлолом, шихты и особенностями технологии выплавки стали. Известно, что колебание по прокаливаемости стали несомненно вызывают и дисперсию по деформации деталей при химико-термической обработке, о чем убедительно свидетельствуют исследования и длительный опыт производств ЗИЛа, ВАЗа, ГАЗа и КАМАЗа [2-6].

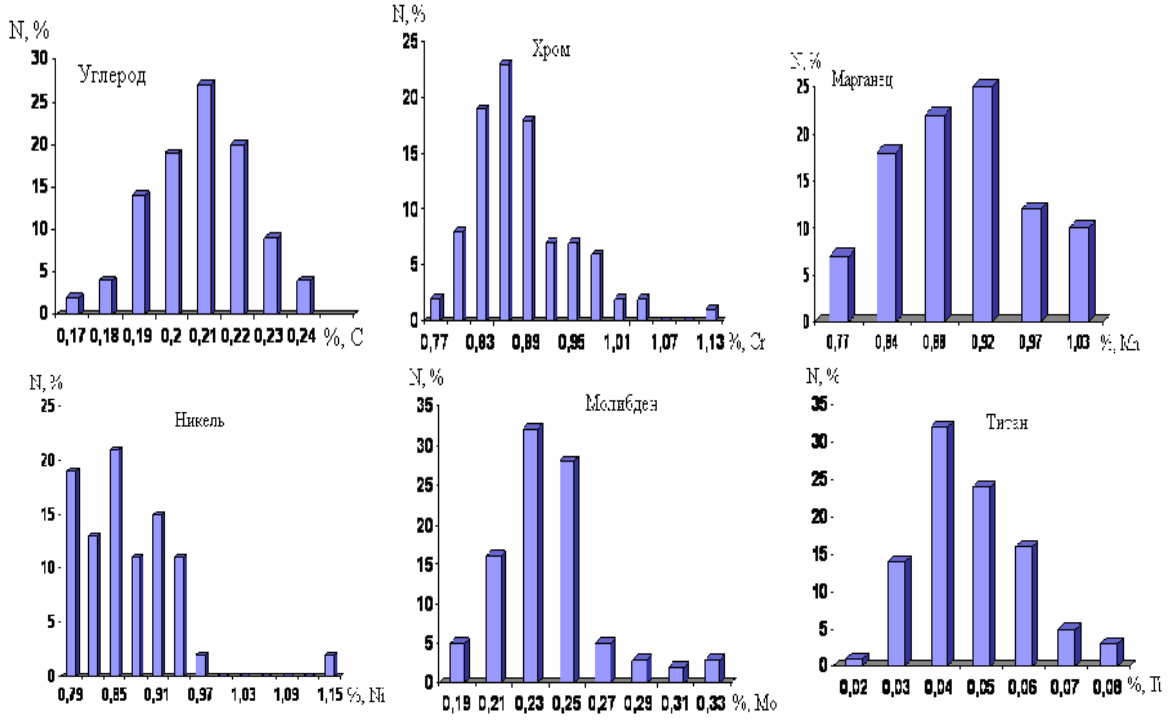


Рис. 3. Частота (%) распределения испытанных плавок (294 шт.) стали 20ХГНМТА по содержанию химических элементов

В отдельных плавках стали выявлены устойчивые структурные составляющие, резко отличающиеся по свойствам (HV>350) от структурно-фазового состояния основы сплава (рис. 5а, б) и феррито-перлитная строчечность (рис. 5в). Первоочередное внимание специалистов при технологическом переделе таких плавок стали должно быть уделено горячей пластической деформации и предварительной термической обработке заготовок (поковок). Основное требование – создание в стальных заготовках благоприятного структурного состояния перед обработкой резанием, так как более 80% деталей в машиностроении подвергается механической обработке, а около 45% трудоемкости при их изготовлении отводится именно этой стадии технологического процесса. Актуальность этой проблемы существенно возрастает в массовом и крупносерийном производстве и особенно при изготовлении деталей на автоматических линиях, где одновременно совмещаются различные виды обработки резанием.

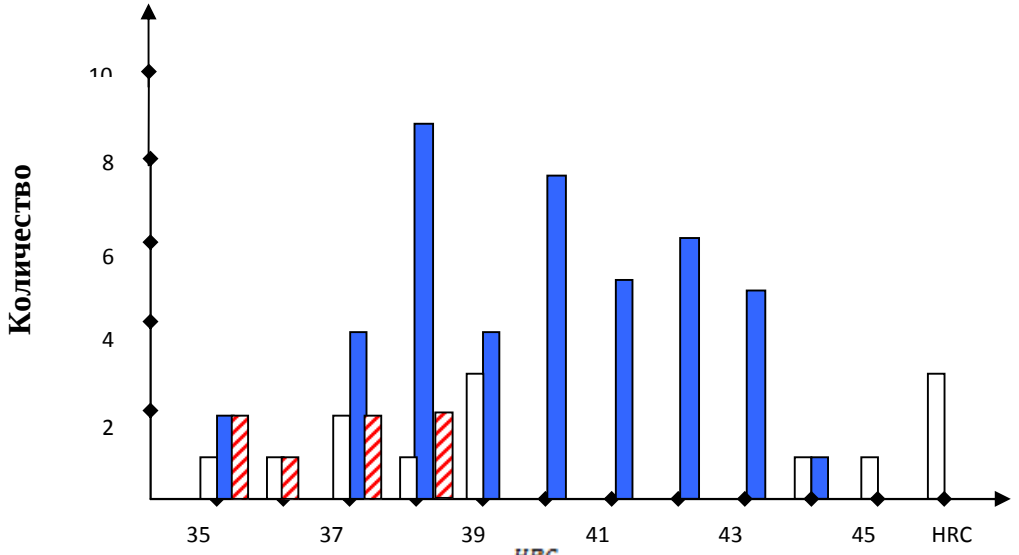
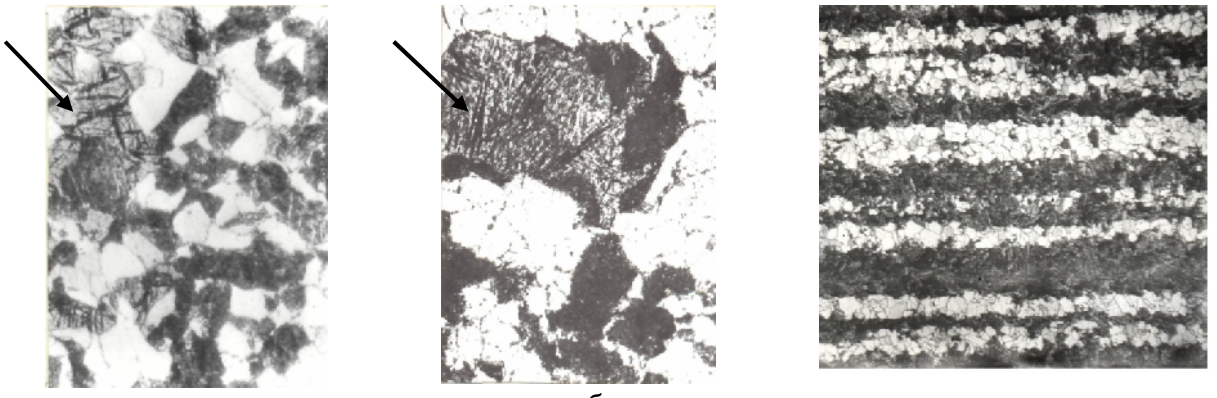


Рис. 4. Прокаливаемость ($П\frac{HRC}{9}$) стали 20ХГНМТА, выплавленной металлургическими заводами г. Челябинска (Мечел.) (□), г. Златоуста (ЗМЗ) (■) и г. Ст.Оскол (ОЭМК) (□)



а б в

Рис.5. Структурная неоднородность в стали: островная (а, б) и строчечная (в)

Стабильное и благоприятное феррито-перлитное состояние в заготовках с полным устранением структурной неоднородности можно достичь при отжиге изделий

по схеме: аустенитизация при 930 - 950°С, охлаждение со скоростью более 23°С/мин. до температуры 680 ± 20°С, последующий распад аустенита при ступенчатом понижении и двухчасовой выдержке при температурах 680 – 660 – 640 – 600°С и далее охлаждение на воздухе. Благодаря получению такой однородной структуры и твердости в пределах 156 – 207 НВ обеспечиваются хорошие показатели по стружкообразованию и стойкости инструмента при обработке резанием заготовок, а также сводится до минимума или полностью исключается наклеп поверхности изделия и тем самым стабилизируется и минимизируется вклад механической обработки в деформацию и коробление упрочненных деталей [2, 4, 5].

На этапе химико-термической обработки деталей выявлены и новые пути для сохранения геометрической точности деталей, где предусматривается рациональная схема укладки деталей на поддон термического агрегата и цементация при температуре 840°С. В таблице 1 представлены результаты сравнительных исследований размерной точности шестерён после химико-термической обработки, на которых глубина цементованного слоя составляла 1,2 – 1,3 мм; твердость поверхности – 60 - 61 HRC и твердость сердцевины – 36 - 38 HRC.

Таблица 1. Деформация и коробление цементованных деталей

№ п/п	Контролируемый параметр	После механической обработки	Температура цементации, °С	После ХТО
1	Колебания бокового зазора, мм	0,02-0,05	930	0,05-0,13
		0,02-0,07	840	0,05-0,09
2	Эллипсность внутреннего отверстия, мм	≤ 0,01	930	0,08-0,14
		≤ 0,01	840	0,02-0,06
3	Неплоскостность торца, мм	≤ 0,02	930	0,02-0,07
		≤ 0,02	840	0,01-0,03
4	Величина радиального биения зубчатого венца, мм	0,02-0,10	930	0,03-0,16
		0,03-0,05	840	0,04-0,07

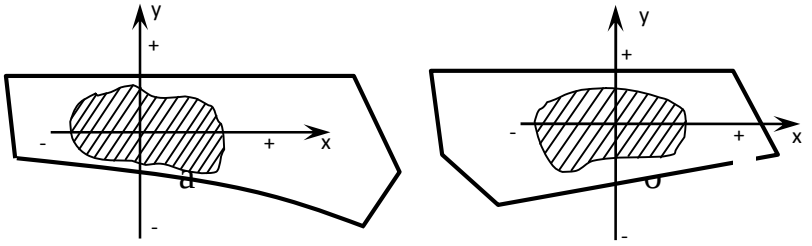


Рис. 6. Приоритетное расположение пятна контакта на вогнутой (а) и выпуклой (б) стороне зуба шестерни

Видно, что после низкотемпературной цементации шестерён достигается существенное преимущество по всем вышеуказанным показателям геометрической точности и обеспечивается большая площадь пятна контакта между зубьями при минимальном его смещении от приоритетного места (рис. 6, табл. 2). При этом фактические значения напряжений в месте контакта зубьев уменьшились с 467,5 МПа до 319,6МПа, т.е. на 46,3%. Повышенная температура цементации и закалки, кроме

того, вызывает и смещение центра пятна контакта к вершине или ножке зуба. Такой факт вызывает не только увеличение контактных напряжений, но в сочетании с изгибной нагрузкой создаётся дополнительно и крутящий момент на зубьях шестерён в процессе работы.

Обобщая вышеизложенное можно утверждать, что за счет комплексного решения задачи, направленной на формирование необходимой и благоприятной микроструктуры стали на этапе изготовлении заготовок, обеспечении стабильности механической обработки и уменьшении деформации и коробления при ХТО (в первую очередь за счет уменьшения колебания бокового зазора) шестерён главной передачи удалось снизить уровень шума на 2 -3 дБА задних ведущих мостов с 90,8 – 89,2 дБА до 87,8 – 87,1 дБА (табл. 3).

Таблица 2. Относительная площадь и месторасположение центра пятна контакта (П.К.) на зубьях шестерён

Температура цементации, °С	Относительная площадь П.К., %			Смещение центра П.К., мм	
	после мехобработки	после ХТО	после притирки	по оси «х»	по оси «у»
930	49,41 55,72	44,55 50,73	58,86 66,99	-8,2 -9,0	+2,5 +4,6
840	49,26 55,12	62,05 67,71	86,10 81,69	-4,2 -7,0	+1,3 +3,2

Примечание: В числителе – для вогнутой, в знаменателе – для выпуклой стороны зуба.

Таблица 3. Уровень шума мостов с опытными и серийными шестернями

Партии деталей	Коробления бокового зазора за оборот на станке «Глиссон - 512», мм	Колебания бокового зазора в главной передаче, мм	Уровень шума моста, дБА
опытные	0,05	0,24-0,31	87,4
	0,06	0,23-0,30	87,1
	0,05	0,21-0,27	87,3
	0,07	0,23-0,32	87,8
серийные	0,10	0,22-0,33	89,2
	0,13	0,29-0,42	90,8
	0,12	0,28-0,40	90,4

Выводы:

1. На основе анализа состава и свойств стали 20ХГНМТА произведенной тремя меткомбинатами выявлен уровень колебания по содержанию химических элементов, а также «строчечная» и «островная» структурные неоднородности в нормализованных полуфабрикатах.

2. Добиться равномерной феррито-перлитной структуры в поковках с такой химико-структурной неоднородностью можно при изотермическом отжиге со строгим соблюдением температурно-временных параметров процесса и тем самым снизить долевое участие в деформацию деталей последующих этапов металлопередела – механической и упрочняющей обработок.

3. Устранение наклёпа поверхности и соблюдение точности геометрических размеров изделия при механической обработке в сочетании с рациональным расположением деталей на поддоне термоагрегата и их низкотемпературной цементацией позволяет минимизировать деформацию и коробления шестерён, повысить площадь пятна контакта зубьев в зацеплении и снизить уровень шума на 2-3 дБА при работе зубчатой передачи.

Список литературы:

1. Зинченко, В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. / В.М. Зинченко.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 303с.

2. Булгаков, В.А. Влияние исходной структуры на деформацию и коробление деталей после окончательной термической обработки. / В.А. Булгаков // МиТОМ. - 1977. - №9. - С. 45-47.

3. Глинер, Р.Е. Технология поверхностного упрочнения металлов термической и пластической обработкой: учеб. пособие для студентов вузов/ Р.Е. Глинер. – Нижний Новгород: НГТУ, 2008. – 249 с.

4. Влияние исходной структуры на деформацию шестерен при химико-термической обработке/ В. Копыл, А. Ахантьев, М. Копыл, В. Курбатов.-Экспресс-информация.- Технология автомобилестроения. Тольятти, 1976.- №1.- С.36.

5.Астащенко, В.И. Влияние технологических факторов на геометрическую точность цементованных изделий./ В.И. Астащенко, И.М. Родькин// Изв. ВУЗов, Сев.-Кавк. Регион. Технические науки. – 2005. – Приложение №3.- С. 66-72.

6. Термическая обработка в машиностроении: Справочник. /Под ред. Ю.М. Лахтина и А. Г. Рахштадта. - М.: Машиностроение, 1980.- 783с.

Надійшла до редколегії 15.05.2012 р.

V.I. Astashchenko, U.P. Smirnov, S.S. Soloveichik, A.I. Shveyov, T.V. Shveyova, I.M. Rodkin

ABOUT A ROLE OF TECHNOLOGICAL PROCESSING OF STEEL IN CREATION OF COMPETITIVE PRODUCTION

Individual share of various stages of metalrepartition in accumulation of deformation of tsementovanny tooth gears is shown. Fluctuations on chemical structure, structure and a prokalivayemost of steel 20ХГНМТА of a various mode of the production, used for manufacturing of gear details are revealed. Decisions on heat treatment of pokovka and chemical and thermal processing of the gear wheels, allowing to minimize deformation of details are offered, to increase the area of a spot of contact piece between teeths in gearing and to stabilize its sites and to reduce noise level on 2-3 DBA at operation of the leading bridge of the lorry.

Keywords: *steel, metalrepartition, heterogeneity, prokalivayemost, cementation, cogwheel, contact spot, noise level.*

В.І. Астащенко, Ю.П. Смирнов, С.С. Соловейчик, А.І. Швеев, Т.В. Швеева, І.М. Родькин

ПРО РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПЕРЕДІЛУ СТАЛІ В СТВОРЕННІ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Показано пайову участь різних етапів металлопереділу в накопиченні деформації цементованих зубчастих коліс. Виявлено коливання по хімскладу, структурі і прокалюваємости сталі 20ХГНМТА різного способу виробництва, що використовується для виготовлення зубчастих деталей. Запропоновано рішення по термообробці поковок і хіміко-термічної обробці шестерень, що дозволяють мінімізувати деформацію деталей, підвищити площу плями контакту між зубцями в зачепленні і стабілізувати його місця розташування і знизити рівень шуму на 2-3 дБА при роботі ведучого моста вантажного автомобіля.

Ключові слова: *сталь, металлопереділ, неоднорідність, прокалюваємость, цементація, зубчасте колесо, пляма контакту, рівень шуму***.**