

**ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ
ЦЕМЕНТОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ**

Асташенко В.И., Швеёв А.И., Швеёва Т.В., Калимуллин Р.Р

(Камская государственная инженерно-экономическая академия,
г. Набережные Челны, Россия)

Аннотация. Показана эффективность упрочнения зубчатых колес методом дробеструйной обработки. Применение дроби $\phi 0,45\text{--}0,60$ мм с твердостью HV610 и время обработки в течение 45 секунд позволило получить на поверхности сжимающие напряжения на уровне 600 МПа и повысить долговечность зубчатых колес на 30-50%

Ключевые слова: дробенаклеп, зубчатые колеса, сталь, цементация, шероховатость поверхности, напряжения сжатия

Введение. Увеличение работоспособности большинства узлов современных грузовых автомобилей в значительной мере определяется долговечностью работы зубчатых колес. Это во многом обуславливается прочностью зубьев, зависящей в первую очередь от применяемого материала и технологических методов упрочнения. В практике машиностроительных заводов широкое применение получили методы термического и деформационного упрочнения зубчатых колес. Однако проблема упрочнения поверхности тяжелонагруженных зубчатых колес не только не утратила своей актуальности, но стала еще острее. Это объясняется возросшими требованиями к надежности конструкций, повышением скоростей и несущей способности зубчатых передач.

Наиболее перспективным методом упрочнения тяжелонагруженных деталей автомобиля является комплексная обработка: химико-термическая обработка (цементация, нитроцементация) с последующим деформационным упрочнением их дробью, обкаткой роликами, чеканкой специальными бойками и т.п. Заводская практика показала, что в условиях массового производства деталей наиболее результативным деформационным упрочнением зубчатых колес является наклеп дробью. Преимуществом данного способа является возможность упрочнения деталей различной формы и размеров, полной механизации процесса упрочнения, высокой производительности и относительно низких затратах на специальное оборудование.

Деформационное упрочнение дробью увеличивает сопротивление разрушению при ударно-циклических нагрузках цементованных низколегированных сталей на 30-35%, при изгибных циклических нагрузках на 10-50% в зависимости от исходной структуры диффузационного слоя, расширяет границы периода до появления усталостной трещины и условия ее развития [1].

Цель работы – исследовать свойства поверхности цементованных деталей после дробеструйной обработки.

Результаты исследований.

Сущность процесса наклена дробью заключается в том, что поверхность детали подвергается холодной пластической деформации посредством ударного импульса чугунной или стальной дробью диаметром от 0,3 до 2,5 мм. Положительный эффект поверхностного деформационного упрочнения сталей, подвергнутых химико-термической обработке, объясняется собственным упрочнением металла в результате пластической деформации и возбуждением сжимающих напряжений в наклеченных поверхностных слоях деталей. Собственное упрочнение металла происходит в

результате распада метастабильных структур. Интенсивный распад остаточного аустенита отмечался многими исследователями, изучавшими различные методы поверхностного упрочнения стали. В процессе наклена имеет место качественное изменение мартенсита (дисперсное твердение) и выпадение карбидов не во всем объеме образца (как в результате отпуска), а по плоскостям скольжения. Выпавшие дисперсные карбиды заклинивают плоскости, вызывают скольжение по новым плоскостям, в результате чего металл упрочняется. Установлено, что интенсивное упрочнение наблюдается даже при малых степенях деформаций, соизмеримых со степенями деформации, имеющими место при дробеструйном наклете.

Этим вопросам посвящены работы М.М. Саверина, Альмена, И.В. Курдрявцева, И.М. Шашина, Н.А. Карасева, Рыбаков Г.М. и других отечественных и зарубежных ученых. Многочисленные эксперименты и заводская практика доказали высокую эффективность упрочнения дробью разнообразных деталей, изготовленных из черных и цветных металлов. Особенно эффективно применение деформационного упрочнения дробью сказалось на деталях с поверхностными концентраторами напряжений и с обезуглероженной поверхностью, работающих при циклических нагрузках [2].

Для изготовления тяжелонагруженных зубчатых колес применяются стали как с низким (0,1-0,15%), так и со средним (0,25-35%) содержанием углерода. При этом наблюдается тенденция перехода к низкоуглеродистым сталим, микролегированным молибденом, бором, титаном, свинцом, азотом, цирконием и ванадием. Легирование сталей хромом и марганцем обеспечивает высокую твердость и прочность. Никель повышает вязкость. Титан и цирконий снижают склонность хромомарганцовистых сталей к росту зерна при перегреве. Кремний повышает прочность и упругость стали. Микролегирование стали бором повышает прокаливаемость и уменьшает склонность к перегреву. Молибден повышает закаливаемость стали. Свинец повышает обрабатываемость стали резанием.

Химический состав сталей, широко применяемых в отечественном машиностроении для изготовления тяжелонагруженных зубчатых колес, приведен в таблице.

Таблица 1. Химический состав сталей для производства тяжелонагруженных зубчатых колес

Марка стали	Содержание химических элементов, %											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	B	Al	Ti
18ХГР (ТУ 14-1-5561-2008) опытная	0,14-0,20	1,10-1,35	0,15-0,40	≤ 0,025	0,020-0,035	1,10-1,35	0,04-0,12	0,15-0,30	≤ 1,15	0,001-0,003	0,020-0,050	≤ 0,005
15ХГН2ТА (ГОСТ 4543-71)	0,13-0,18	0,7-1,0	0,17-0,37	≤ 0,025	0,015-	0,7-1,0	≤ 0,15	1,4-1,8	-	-	-	0,03-0,09
20ХГНМТА (ТУ 14-1-5509-2005)	0,18-0,23	0,8-1,1	0,17-0,37	0,025	0,015-	0,8-1,1	0,2-0,3	0,8-1,1	≤ 0,20	≤ 0,0005	-	≤ 0,005

Для определения оптимальных параметров упрочнения поверхности деталей были изготовлены приспособления, имитирующие по своей форме шестерни. Способ укладки приспособлений по аналогии с шестернями, подвергаемыми данной операции (рис 1). Интенсивность дробенаклева анализировалась по методу, предложенным Альменом, посредством прогиба контрольных пластинок (рис 2). Использованы пластины типа «А» размерами $76,2 \times 19,05 \times 1,29$ мм и твердостью 44-50 HRC. Пластины изготовлены из стали имеющей следующий химический состав: С – 0,65-0,76%, Mn – 0,60-0,90%, P ≤ 0,04%, S ≤ 0,05%, Si – 0,15-030%. Эмпирически установлено, что за время $\tau = 45$ сек при заданных параметрах – скорости подачи дроби и направлении луча на дробемете «Пангборн» достигается необходимая степень наклева, именуемая точкой насыщения.

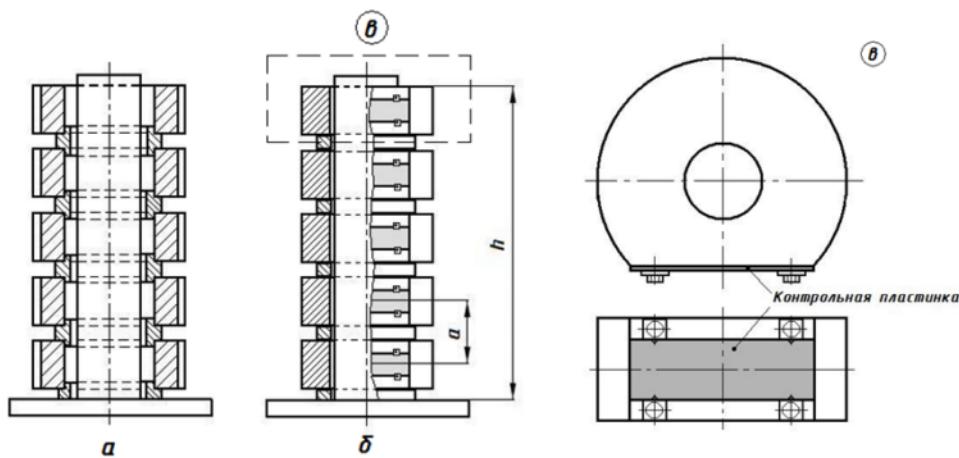


Рис. 1. Укладка шестерен (а) и экспериментальных приспособлений (б) в оправку. В – эскиз приспособления

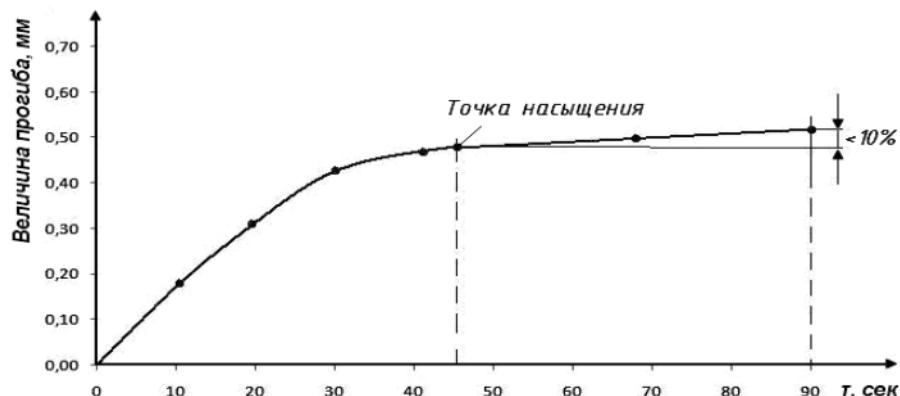


Рис. 2. Диаграмма величины прогиба контрольных пластинок за время (t) обработки дробью

Качество дробеструйного упрочнения оценивали методом рентгеноструктурного анализа при измерении остаточных напряжений. На примере отечественного и зарубежного опыта установлено, что для обеспечения максимальной эксплуатационной долговечности деталей необходимо создать сжимающие напряжения на глубине 20 $\mu\text{м}$ не менее 600 Н/мм². На рисунке 3 представлены результаты замеров. В первом случае (рис. 3 а) использовалась свежая рабочая смесь, в которой стальная дробь диаметром

0,45-0,60 мм занимала 98% от общего объема, во втором (рис. 3 б) – отработавшая, в которой содержание дроби того же размера составляло ~ 52% от общего объема.

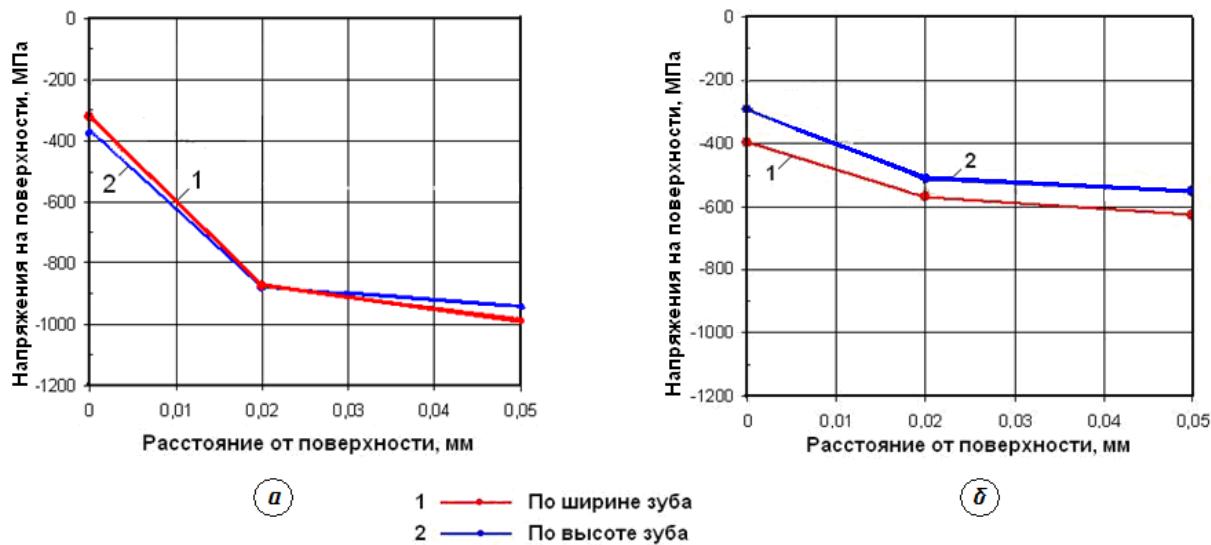


Рис. 3. Уровень напряжений сжатия в поверхностном слое цементованной детали после дробенаклена свежей (а) и отработавшей (б) смесью

Необходимо отметить, что анализ качества упрочнения дробью методом измерения остаточных напряжений ввиду своей дороговизны целесообразно производить лишь на стадиях отработки технологии. В условиях массового производства достаточно проводить оценку интенсивности наклена методом измерения прогиба контрольных пластинок в совокупности с анализом состояния рабочей смеси путем применения набора контрольных сит.

Для наклена поверхности зубчатых колес следует применять дробь диаметром 0,6-1,0 мм. Применение стальной дроби снижает трудоемкость процесса на 40-50% по сравнению с обработкой чугунной дробью. Дробь изготавливается из твердой стальной пружинной проволоки или из отбеленного чугуна и должна быть шарообразной и прочной. Во избежание деформации дроби в момент удара, твердость ее должна быть выше твердости обрабатываемого материала. В то же время чрезмерное повышение твердости дроби связано с увеличением ее хрупкости, что ведет к быстрому раскалыванию дроби в процессе обработки, повреждению обрабатываемой поверхности и снижению эффективности процесса. Стойкость стальной дроби, исходя из практики машиностроительных предприятий, составляет 500-800 часов работы, а чугунной – только 5-8 часов. Применение стальной дроби, нарезанной из проволоки и обкатанной в дробемете для округления краев, дополнительно повышает, в сравнении с чугунной, предел выносливости деталей примерно на 10-15% и, помимо этого, позволяет упростить конструкцию дробеметов и понизить стоимость дробеструйного наклена. Выбор размера дроби зависит от размера обрабатываемой детали, т.е. чем крупнее сечение детали, тем крупней применяется дробь, и наоборот. Широкое распространение мелкой дроби объясняется тем, что при ее применении получается менее шероховатая поверхность и, кроме того, мелкая дробь лучше проникает в галтели, всевозможные канавки и углубления от механической обработки, тем самым снижая ее вредную роль. В данной работе для мелко- и среднемодульных

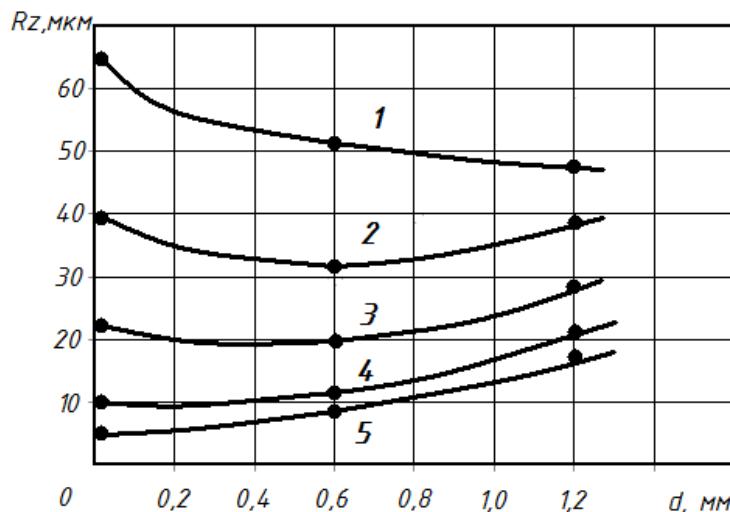


Рис. 4. Изменение шероховатости рабочих поверхностей зубчатых колес при наклете дробью с исходной твердостью и чистотой поверхности зубьев. Обозначение: 1- 62 HRC, ▼3; 2 – 60HRC, ▼4; 3 – 60 HRC, ▼5; 4 – 56 HRC, ▼6; 5 – 56 HRC, ▼7 [1]

дробью диаметром 0,6 мм и 0,8-1,2 мм. Видно, что увеличение размера дроби при упрочнении поверхностей с шероховатостью, соответствующей 3 классу чистоты, улучшает чистоту примерно на один класс. Для поверхностей, шероховатость которых соответствует 4-7 классам чистоты поверхности, увеличение размера дроби с 0,6 мм до 1,2 мм способствует увеличению шероховатости поверхности на один класс. При упрочнении дробью поверхность профиля зуба покрывается характерной «рябью», а в зоне галтелей зубьев следы механической обработки исчезают.

В процессе изготовления зубчатых колес имеют место погрешности в механической обработке, деформация при цементации и при термической обработке в результате действия внутренних напряжений. Это приводит к неточности зацепления, перегрузкам и снижению статической и усталостной прочности. Для обеспечения точности изготовления и правильности зацепления зубчатые колеса подвергают шлифованию, которое может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на свойства цементованной стали. Повышение чистоты поверхности с R_z 8 до R_z 3 при шлифовании и устранение поверхностных дефектов увеличивает предел выносливости. В то же время прижоги, а также местные уменьшения толщины цементированного слоя при неравномерном шлифовании снижают предел выносливости на 40-50% [1]. Поэтому важным условием является необходимость выявления прижогов на поверхностях деталей после финишных операций.

Прижогами при шлифовании называют местные изменения структуры поверхностного слоя металла заготовки, образующиеся в зоне обработки в результате воздействия высоких мгновенных температур в контакте шлифуемых зерен с обрабатываемой заготовкой. Контроль наличия прижогов производился путем визуальной оценки натурных деталей после специальной процедуры травления. Процесс заключается в последовательном окунании в ванны с целью промывки, обезжикивания и травления. Для выявления прижогов детали помещали в раствор, содержащий спирт 94% от общего объема и азотную кислоту концентрации

тяжелонагруженных зубчатых колес использовалась стальная дробь с名义альным диаметром $d=0,45-0,6$ мм и твердостью 610-670 HV1.

Одной из важных характеристик поверхности деталей является величина шероховатости рабочего профиля зуба. На рис. 4 представлены кривые изменения шероховатости рабочего профиля зуба R_z в цементованных зубчатых колесах. Колеса имели разную исходную твердость и подвергались деформационному упрочнению стальной

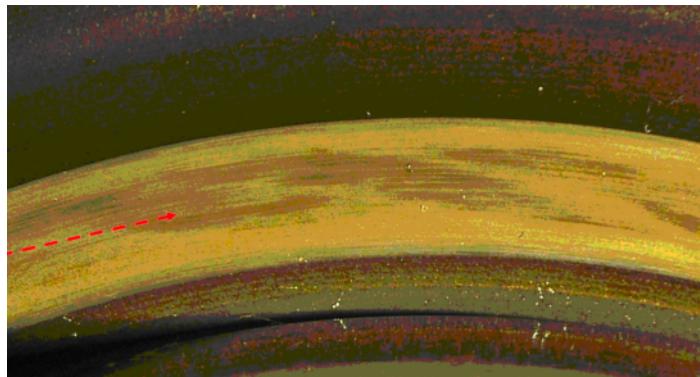


Рис. 5. Прижог на шлифованной торцевой поверхности вала
точечные.

Процесс наклена дробью следует рассматривать как неотъемлемую часть термодиффузационного упрочнения, ибо комплексы термодиффузационно-механического упрочнения создают реально предпосылки для полного использования свойств материалов и дополнительного повышения параметров надежности и долговечности работы тяжелонагруженных зубчатых колес.

Таким образом, оптимизация параметров дробеструйной обработки позволяют достичь достаточно высокий уровень сжимающих напряжений в поверхностном, упрочненным химико-термической обработкой, слое на уровне 600 МПа и выше, что в конечном итоге способствуют увеличению долговечности деталей в условиях эксплуатации. Фракционный состав смеси оказывает существенное влияние на уровень напряжений упрочненного слоя и шероховатость поверхности. Поэтому в условиях массового производства одним из важнейших вопросов является периодический контроль состава рабочей смеси дробеметов или применение современных установок с автоматической системой фильтрации дроби.

Список литературы: 1. Морозов В.И., Шубина Н.Б. Наклеп дробью тяжелонагруженных зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1972. – 104 с. 2. Астащенко В.И., Янцен Г.И., Устиловский С.Я., Кохова Н.А. Поверхностное упрочнение шатунов двигателя при дробеочистке./ Автомобильная промышленность, 1984. - №8.- с.10-11.

ENGINEERING OF SURFACE CEMENTATION OF DETAILS AFTER SHOT PROCESSINGS

Astashchenko V.I., Shveyov A.I., Shveyova T.V., Kalimullin R.R.

(Kama state engineer-economical academy , Nab. Chelny, Russia)

Article shows strain hardening efficiency of gears and shafts by shot peening. Usage of mixture with nominal diameter 0,45-0,60 mm and hardness HV610 and time of processing within 45 seconds provided a compressive stresses on parts surface on a level 600 MPa and increased the durability of parts on 30-50%

Key words: Shot peening, gears, steel, cementation, surface roughness, compressive stresses

Надійшла до редколегії 04.05.2011 р.