

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА УПРОЧНЯЮЩЕГО ШЛИФОВАНИЯ

О.В. Таратынов, В.В. Клепиков

Предложено направление повышения эффективности метода упрочняющего шлифования.

Ключевые слова: упрочняющее шлифование, зубчатые колеса.

Введение

В технологическом процессе производства зубчатых колес шлифование постепенно вытесняет другие методы обработки. На основании результатов экспериментальных исследований был проведен анализ возможности использования силового упрочняющего шлифования для специфичных технологических условий обработки зубчатых колес [1, 2].

Метод упрочняющего шлифования

С учетом того, что конструкция станков предусматривает возможность осуществления силового упрочняющего и чистового шлифования при позиционировании заготовки относительно шлифовальных кругов и осевой ее ориентации, за счет перемещения пинолей передней и задней бабки, были проведены экспериментальные исследования на заготовках зубчатых колес из стали 45, которая широко используется в машиностроении как «эталонная».

Правку кругов проводили при продольной подаче ролика от 0,1 до 1,0 мм, поперечной подаче ролика (на врезание) от 0,01 до 0,1 мм на один рабочий ход.

Конструкция шлифовальных станков обеспечивает возможность осуществления любого из трех циклов шлифования, поэтому экспериментальные исследования проводили как в изолированном, так и смешанном режиме.

На этапах силового цикла шлифования, после начала вращения заготовки, подвода СОЖ и быстрого подвода шлифовальной бабки, осуществлялись форсированная подача кругов до соприкосновения круга с заготовкой ($S_1=1...20$ мм), черновая подача кругов

($S_2=0,4...1,0$ мм) и выхаживание. Припуск на обработку составлял 1 – 3 мм на диаметр и 0,5 – 0,7 мм на торец.

При упрочняющем шлифовании осуществлялось одновременное вращение заготовки (0,5; 1,0; 2,0; 3,3 и 4,0 об/мин) и ускоренное врезание круга (5 – 20 мм/мин). При этом заготовка совершала два полных оборота до фиксированного углового положения. Припуск на обработку составлял 1,0 – 1,5 мм на диаметр и 1,0 – 1,2 мм на торец.

Чистовое шлифование осуществлялось при $S_1=1,0...3,0$ мм, затем при $S_2=0,4...1,0$ мм, и микроподаче $S_3=0,05...0,10$ мм. Подача СОЖ (с постоянной температурой) в зону обработки составляла до 200 л/мин.

Как показали экспериментальные исследования, при снятии припуска в пределах 0,15 – 0,17 мм на сторону глубина упрочняющего слоя достигает 60 – 80 % от величины снимаемого припуска, а твердость поверхностного слоя возрастает в 1,5 раза по сравнению с исходной. Однако на глубине более 0,25 мм твердость уменьшается практически до исходной. При этом точность достигаемых размеров заготовки находится в прямой зависимости от исходной, т.е. наблюдается копирование исходной погрешности. Отклонение от цилиндричности достигает 0,02 мм при припуске 0,07 мм, а глубина упрочненного слоя составляет 0,1 мм. Правку круга проводили в три прохода, после чего проводили выхаживание.

Исследования изменения характера распределения твердости поверхностных слоев, особенностей структуры и фазового состава

упрочненного слоя, характера распределения остаточных макронапряжений в поверхностных слоях и степени влияния упрочняющего шлифования на эксплуатационные свойства деталей проводили на специально подготовленных образцах.

Основными изменяющимися режимами шлифования являются глубина резания и частота вращения обрабатываемой заготовки.

Образцы в основном были цилиндрические диаметром 40 – 70 мм.

При подготовке микрошлифов для оценки микротвердости образцы заливали сплавом Вуда, низкая температура плавления которого (56 °С) исключала возможность отпуска поверхностного слоя исследуемых образцов (рис. 1, з). Для устранения возможностей завала краев образцов при изготовлении шлифа рядом с исследуемой поверхностью помещали полоску из закаленной стали (рис. 1, б). Образцы вначале разрезали в поперечном направлении в середине шлифа, а затем в радиальном на четыре

сегмента (рис. 1, а). Часть образцов разрезали только в продольном направлении (рис. 1, в).

Подготовка образцов осуществлялась на специальном отрезном станке с качающимся столом при «мягких» режимах с обильным охлаждением, исключающих появление ожогов. Нагрузка на пирамиду на приборе ПМТ-3 составляла 100 г. Расстояние между отпечатками составляло 50 мкм. Глубина упрочненного слоя определялась как расстояние от поверхности до зоны, содержащей 50 % мартенсита.

Результаты исследования показали, что увеличение глубины резания в 40 раз (от 0,01 до 0,40 мм) вызывает повышение твердости в 2 раза. При дальнейшем увеличении глубины резания повышение твердости замедляется и, достигнув 0,9 мм, практически прекращается. Это связано видимо с тем, что интенсивный и длительный нагрев поверхностного слоя при значительной глубине резания приводит к более полной аустенизации металла.

Аналогичные результаты получены и при

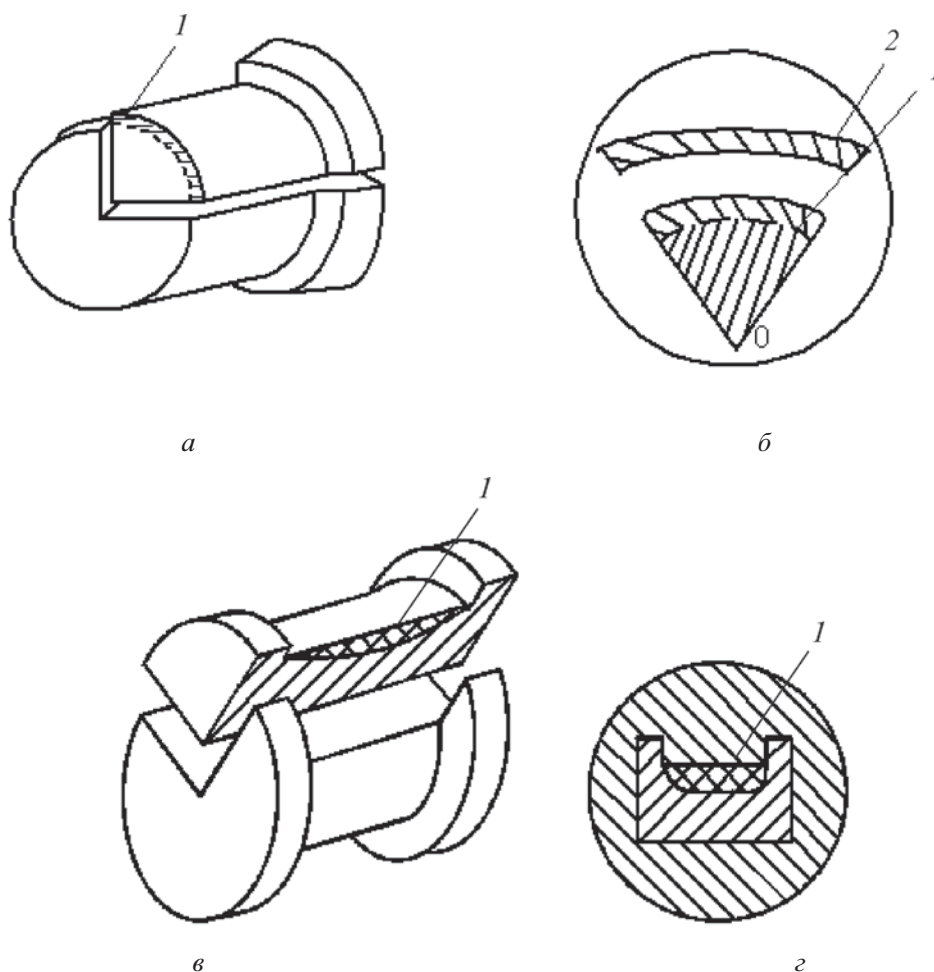


Рис. 1. Схемы разрезки образцов (а, в) и шлифы (б, з):

1 – упрочненный слой; 2 – полоска закаленной стали

увеличении частоты вращения заготовки, так как при этом уменьшается время действия теплового источника. Таким образом, достигнув предельных значений режимов резания, обеспечивающих условия полной аустенизации исходной структуры заготовки, дальнейшее их повышение приводит к увеличению времени действия теплового источника и практически не изменяет твердости поверхностного слоя заготовки.

Если увеличивать глубину резания и уменьшать частоту вращения заготовки, то это приведет к увеличению глубины упрочненного слоя. Можно также увеличивать время прогрева металла при температуре выше критической, что приведет к увеличению глубины упрочненного слоя. Однако предельное значение этой глубины (1,0 – 1,4 мм) имеет значительный разброс. В то же время в тонких поверхностных слоях (0,1 – 0,3 мм) обеспечивается стабильность получаемых результатов. Следует учитывать, что на участке врезания круга наблюдается снижение твердости материала заготовки.

Плотность теплового потока оказывает существенное влияние на результаты эксперимента и соответствует следующей зависимости:

$$H = 0,3T^{1,17},$$

где H – глубина упрочненного слоя; T – плотность теплового потока.

С учетом того, что плотность теплового потока связана с мощностью процесса шлифования, то при контроле мощности на приводе шлифовального круга можно корректировать режимы резания.

С целью анализа строения упрочненного слоя образцы подвергали нормализации, в результате чего была получена равномерная перлитно-ферритная структура. Для травления шлифов применяли специальный реактив (3 %-ный раствор азотной кислоты в спирте), который позволяет выявлять структуру основного металла. Состав реактива и методика травления образцов для определения структуры зерна и белого слоя были подобраны экспериментально.

Травление осуществляли в нагретой до температуры 65 °С кислоте в течение 10 мин. После травления шлиф полировали. Анализ микроструктуры осуществляли на сканирующем микроскопе М-35. Количество остаточного аустенита определяли рентгеноструктурным методом (на установке УРС-50ИМ). Съемку

проводили в С-излучении под углом 75° (слой отражения на расстоянии 0,006 – 0,007 мм от поверхности).

Металлографические исследования позволили выделить следующие структуры:

- поверхностный слой, представляющий собой мелкодисперсную аустенитно-мартенситную структуру с содержанием остаточного аустенита 18 – 22 % (белый слой);

- основной упрочненный слой, представляющий собой мелкодисперсную структуру мартенсита или мартенсит плюс тростит. Оказалось, что в этом слое присутствует лишь незначительное количество остаточного аустенита (5 %), что указывает на протекание процесса закалки. Причем полученный мартенсит отличается мелкодисперсностью и повышенной твердостью, что можно объяснить большими скоростями нагрева и охлаждения;

- в переходном слое температура была достаточной для протекания аустенизации, и структура представляет собой сорбит закалки с прожилками феррита. Этот слой переходит в основную ферритно-перлитную структуру.

Следует отметить, что мартенсит в упрочненном слое отличается мелкозернистостью, что также можно объяснить значительным нагревом металла (до 1200 °С) вблизи зоны контакта круга с заготовкой. Известно, что кроме температуры на структуру упрочненного слоя оказывает влияние давление в зоне резания. Однако при длительном прогреве (малые частоты вращения заготовки) металл прогревается до пластичного состояния и влияние силового фактора становится незначительным. В то же время было замечено, что при скорости резания 9 мм/с именно давление в зоне резания приводит к значительным искажениям структуры.

С учетом того, что величина и знак остаточных напряжений 1-го рода оказывают влияние на эксплуатационные характеристики деталей, были определены остаточные напряжения на базе методики, основанной на модифицированном методе Н.Н. Давиденкова. Как показали экспериментальные исследования, на поверхности детали после упрочняющего шлифования образуются сжимающие напряжения, что оказывает положительное влияние на работу деталей в условиях циклических нагрузок. Распределение остаточных напряжений τ_z , полученных после обработки образцов при скорости резания 5 м/с и глубине $h = 0,9$ мм, представлено на рис. 2.

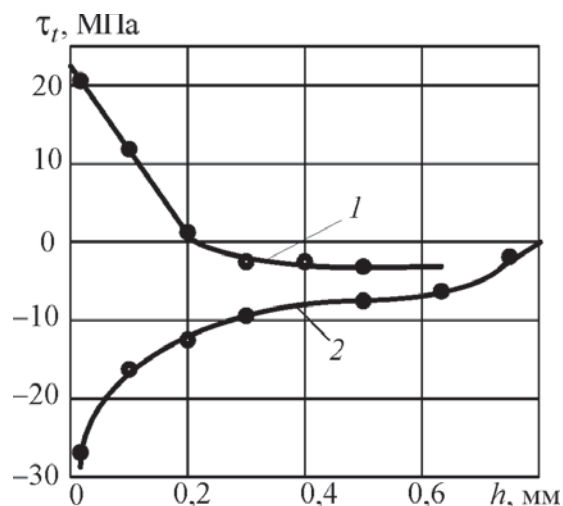


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений 1-го рода τ_1 до обработки (кривая 1) и после обработки (кривая 2)

Большое значение для работы зубчатых колес имеет износостойкость их рабочих поверхностей. В связи с этим были проведены исследования износостойкости образцов в условиях сухого и масляно-абразивного трения.

Исследование при сухом трении проводили методом определения износа при вращении заготовки по типу «кольцо – вкладыш». Образцы исследовали на машине трения МИ-ИМ при постоянной частоте вращения (425 об/мин) и скорости (0,9 м/с).

Взвешивание образцов проводили на аналитических весах с точностью $\pm 0,0001$ г. При

исследовании на масляно-абразивное изнашивание перед каждым циклом в масло вводили 0,1 % абразива (кварцевого песка с частицами диаметром 4 – 5 мкм).

По результатам исследований возникли опасения только по поводу наличия ожогов поверхностных слоев после упрочняющего шлифования. В связи с этим провели проверку деталей после обработки на ожоги и микротрещины магнитно-люминесцентным методом на дефектоскопе МН-500, которая показала, что ожоги на поверхностном слое деталей отсутствуют.

Заключение

На основании проведенных исследований можно утверждать, что упрочняющее шлифование является перспективным направлением в области совершенствования технологических процессов обработки зубчатых колес и отвечает требованиям современного машиностроительного производства.

Список литературы

1. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высококачественных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 364 с.
2. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 365 с.

Материал поступил в редакцию 28.05.2012

ТАРАТЫНОВ Олег Васильевич

Тел.: +7(495) 620-39-59

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и металлорежущих систем автомобилестроения ФГБОУ ВПО «МГИУ». Сфера научных интересов – технологии машиностроения, САПР технологических процессов. Автор более 200 научных работ, в том числе 20 авторских свидетельств, 10 патентов.

КЛЕПИКОВ Виктор Васильевич

Тел.: +7(495) 620-39-59

Доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой технологии и металлорежущих систем автомобилестроения ФГБОУ ВПО «МГИУ». Сфера научных интересов – разработка новых и комплексное усовершенствование существующих методов комбинированной обработки сложноконтурных деталей. Автор более 300 научных работ, в том числе 30 изобретений.