

УДК 536.621.9



П.А. Якимов,
асистент,
Одеський національний
політехнічний університет



О.А. Якимова,
старший викладач,
Одеський національний
політехнічний університет



В.М. Кузьміна,
старший викладач,
Одеський національний
політехнічний університет

О ПРИРОДЕ ШЛИФОВОЧНЫХ ТРЕЩИН

П.О. Якимов, О.О. Якимова, В.М. Кузьміна. О природе шлифовальных трещин. В статті розглянута кінетика формування залишкової напруги від теплових явищ. Доведено, що переривисте шліфування дозволяє виробляти обробку, не викликаючи при цьому появи шліфовальних тріщин.

P.A. Yakimov, O.A. Yakimova V.M.Kuzmina. On the nature of grinding cracks. In the article is considered kinetics of forming of remaining tensions from the thermal phenomena. It is well-proven that the irregular polishing allows to produce treatment, not causing appearance of shlifovochnykh cracks here.

Введение. В данной работе рассмотрен механизм разрушения деталей под воздействием остаточных напряжений, вызванных тепловыми явлениями. Рассмотрена кинетика формирования напряжений от тепловых явлений. На различных примерах показано, что прерывистое шлифование сопровождается меньшей теплонапряженностью, что позволяет производить шлифование на более форсированных режимах, не вызывая при этом появление шлифовочных трещин. Показано, что если температура при шлифовании цементируемых сталей превысит температуру аустенитного превращения, то при охлаждении будут формироваться большие временные термоупругие растягивающие напряжения, под воздействием которых в поверхностном слое неизбежно возникнут шлифовочные трещины.

В статье приведены примеры обработки различных материалов (закаливаемых, азотируемых, цементируемых сталей и твердых сплавов) обычными прерывистыми кругами.

В статье наглядно показаны преимущества прерывистого шлифования.

Матеріал и результати досліджень. Дослідженню причин утворення шліфовочних тріщин присвячений ряд трудов [1-4 и др.]. Однак складившиеся представления о механизме действия сил при резании абразивными зернами и о характере разрушения металла под их действием, а также сопутствующих этому процессу эффектах, весьма противоречивы. Установлено, что растрескивание поверхности детали в процессе шлифования обусловлено возникновением напряжений, превышающих предел прочности обрабатываемого металла. Вместе с тем причины образования этих напряжений трактуются по-разному.

С повышением температуры действие внешней нагрузки будет определяться не только характером ее приложения, но и температурным режимом в поверхностном слое детали. При повышении теплового состояния поверхностного слоя шлифуемого металла необходимо учитывать, во-первых, явления отрыва, возврата и рекристаллизации и, во-вторых, фазовые превращения неустойчивых структур, например распад твердых растворов при нагреве и возможное образование новых пересыщенных растворов при охлаждении.

Разрушение металлов при нормальных условиях отличается от напряженного состояния металлов при повышенных температурах. Высокая температура в поверхностном слое шлифуемой детали (в контактной зоне) обусловлена превращением значительного количества механической энергии (работа резания и трения) в тепловую. При этом определение температуры в зоне резания при шлифовании встречает экспериментальные трудности, поэтому она чаще рассчитывается теоретически. Данные расчетов имеют большой разброс, что приводит к известным неточностям в суждениях о процессах, протекающих в зоне контакта абразив—деталь.

В последние годы общепринятым стал подход к трещинообразованию при шлифовании с точки зрения тепловой теории. При этом с учетом природы и особенностей шлифуемых металлов рассматриваются температурные градиенты при разных условиях обработки, возможность структурных превращений, величины остаточных напряжений и т. д. [1, 2].

При повышенных температурах, развивающихся при шлифовании, процесс охрупчивания (наклепа) сопровождается явлениями отрыва и возможной рекристаллизации металла в деформируемых объемах. При этом повышающаяся пластичность противодействует охрупчиванию. Образование очагов трещин в этом случае происходит, вероятно, по причине ползучести.

В сталях и сплавах с гетерогенной структурой трещины обычно распространяются в области стыка встречных пластически деформированных зон металла. Наиболее мягкие фазы деформируются больше, причем де-

формація має характер сдвига. Сдвиги фаз розповсюджуються не прямолинійно, а по площинах, маючим найменше опір деформації. Характер утворюючихся тріщин в площині обробки підтверджує наявність ефекту сдвига в напрямленні, перпендикулярному к слідам обробки (рис. 1).

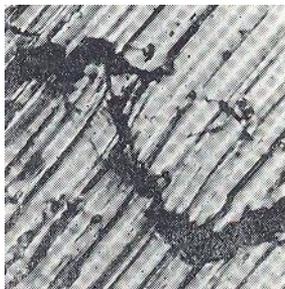


Рис.1 Наявність ефекту сдвига в напрямленні, перпендикулярному к слідам обробки.

Явлення сдвига вказують на концентрацію локальних напружень по границям зерен. Шлифовочні тріщини в залежності від режимів обробки і стану структури матеріалу розташовані перпендикулярно к напрямленню руху режущих зерен або мають замкнутий вигляд (часто по границям контура успадкованих зерен, сформованих при високотемпературних нагрівках в процесі різних технологічних операцій).

Виходячи з значительного количества изученных нами структур в зоне образовавшихся шлифовочных трещин, можно утверждать, что в большинстве металлов имеется контурный каркас. Будучи незаметным при микроструктурном анализе, он обнаруживается при образовании шлифовочных трещин. Последние в большинстве своем образуют рисунок чешуи, т. е. каждая трещина стремится замкнуться по известному контуру (рис. 2).

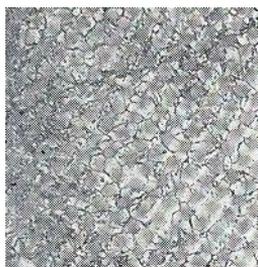


Рис.2. Контурный каркас шлифовочных трещин

Каркасной диафрагмой в сплавах могут служить поры, например в металлокерамических сплавах, шлаковые и иные неметаллические включения и другие, относительно которых (если они прочнее структурной основы) или по которым (если они слабее основы) происходят сдвиги структурных частиц (фаз) под влиянием напряжений, вызванных тепловыми, структурными и фазовыми изменениями.

Сдвиговой характер разрушения поверхности металла по границам зерен вызывается еще и тем, что внутри каждого наследственного зерна содержатся зерна дисперсных продуктов распада (превращений), по-разному ориентированных по отношению к контуру наследственного зерна. Различно ориентированные зерна фаз в силу анизотропии свойств при нагревании расширяются, а при охлаждении сокращаются в объеме по-разному, что также является одной из причин возникновения напряжений.

Результаты исследований шлифования стали 16ХГТЛ кругом 24А25СМ2к с постоянным истинным съемом за один проход показывают, что температура в зоне резания с ростом скорости перемещения теплового источника в интервале 4—12 м/мин увеличивается с 525 до 950°С.

Расчеты показали, что за 0,01—0,03 сек температура в зоне контакта круга с деталью возрастает при постоянном съеме металла в зависимости от скорости продольной подачи. При шлифовании стали 16ХГТЛ со скоростью стола $v_{ст} = 4$ м/мин скорость нагрева поверхностного слоя составляет 13000, а скорость охлаждения 12000°С/сек; при шлифовании же $v_{ст} = 12$ м/мин соответственно 72000 и 60000°С/сек. Эти данные свидетельствуют о накоплении тепла в детали, что вызывает, как известно из практики шлифования закаленных сталей, в первом случае эффект отпуска, а во втором — эффект вторичной закалки. Известны случаи и более грубых прижогов, когда происходит оплавление металла в контактной зоне с последующим растрескиванием оплавленной поверхности. Формирование трещин в этом случае, очевидно, следует отнести к действию усадочных напряжений.

Исследования шлифования кругами с прерывистой рабочей поверхностью показали, что теплонапряженность процесса резания ими значительно меньшая, чем при шлифовании обычными кругами.

После шлифования стали 16ХГТЛ сплошным кругом 24А25СМ2к на всех образцах была обнаружена сетка трещин, выявленная методом цветной дефектоскопии (рис. 3, а). После шлифования прерывистым кругом той же характеристики трещины были обнаружены только на всех образцах была обнаружена сетка трещин, выявленная методом цветной дефек-

тоскопии (рис.3,а). После шлифования прерывистым кругом той же характеристики трещины были обнаружены только на образцах, шлифованных с продольной подачей 12м/мин, при $v_{кр}=0,03\text{мм}$ и $v_{кр}=36\text{м/мин}$ (рис 3,б; 1- $v_{ст} = 3 \text{ м/мин}$; 2- $v_{ст} = 6 \text{ м/мин}$; 3- $v_{ст} = 9 \text{ м/мин}$; $v_{ст} = 12 \text{ м/мин}$).

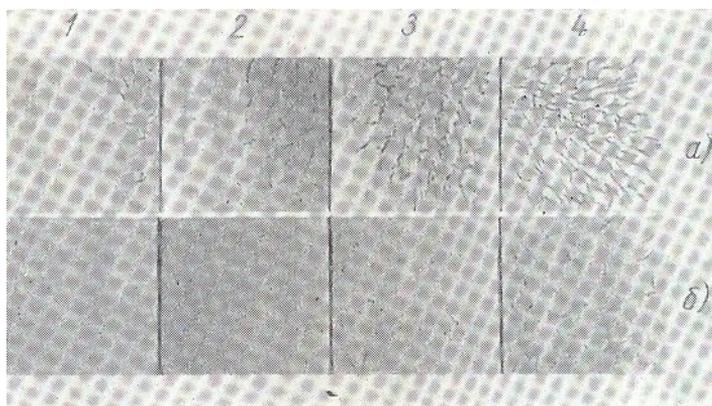


Рис.3. Внешний вид образцов при шлифовании с различными скоростями круга: а) сплошным кругом; б) прерывистым кругом

Аналогичную серию опытов проводили на азотируемой стали ЭИ69, шлифованной обычным и прерывистым кругами. После шлифования сплошным кругом на поверхности образцов были обнаружены шлифовочные трещины, а после шлифования прерывистыми кругами их не было.

Наряду с исследованиями процесса трещинообразования на цементруемых, закаливаемых и азотируемых сталях аналогичные исследования были проведены на других гетерогенных системах (сплавах Т5К10).

Исследование процесса шлифования сплава Т5К10 показывает, что температура в зоне резания с ростом скорости перемещения теплового источника от 4 до 15 м/мин увеличивается с 380 до 740 °С.

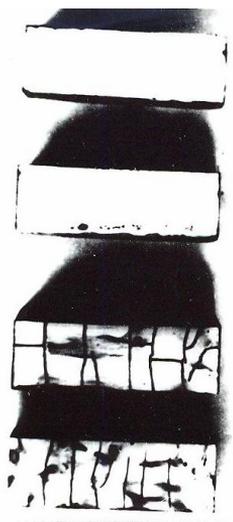


Рис.4. Внешний вид шлифовочных трещин после шлифования плоским и прерывистым кругами

После шлифования сплава Т5К10 кругами АСП16Б1—50% с $v_{кр} = 30$ м/сек, $t = 0,03$ мм, $v_{ст} = 4; 8; 15$ м/мин и охлаждением 3%-ным содовым раствором на всех образцах, шлифованных плоскими кругами, была обнаружена сетка трещин. После шлифования прерывистым кругом трещины обнаружены только на образцах, шлифованных с $v_{СТ} = 15$ м/мин.

Это объясняется, вероятно, тем, что с увеличением скорости стола уменьшается глубина проникновения высоких температур, а следовательно, растет концентрация тепловой энергии в единице объема поверхностных слоев, что способствует большей интенсивности процессов в малых объемах с образованием более мелкой сетки выходящих на поверхность трещин.



Рис.5. Внешний вид образцов после шлифования прерывистыми кругами

На рис.6 представлен зубчатый сектор с прижогом вторичной закалки во впадине.

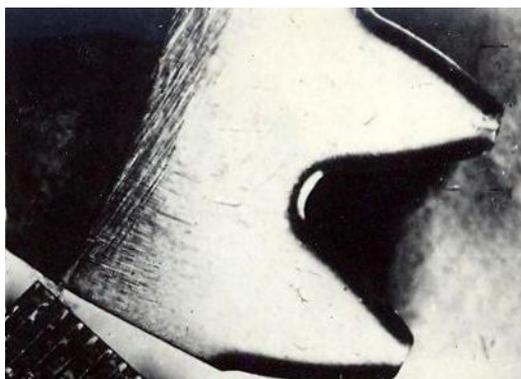


Рис.6 Зубчатый сектор с прижогом вторичной закалки во впадине.

Из рисунка видно что при шлифовании температура достигла температуры аустенитного превращения.

Для цементируемых сталей распад аустенита на мартенсит происходит при температурах порядка 70-80°C. Следовательно за период охлаждения от температуры 840°C до 70°C будут формироваться большие временные термоупругие растягивающие напряжения, величина которых в ряде случаев превышает предел прочности материала. На рис. 7 представлена шлифовочная трещина во вторично закаленном слое.



Рис.7 Шлифовочная трещина во вторично закаленном слое

Выводы. Исследования и практика абразивной обработки подтверждают необходимость проведения при шлифовании мер, направленных на устранение трещин за счет снижения теплонапряженности обрабатываемой поверхности. При известных условиях, определяемых температурным состоянием шлифуемых поверхностей, наложение термических и структурных напряжений способствует развитию имеющихся микроочагов трещин и разрушению поверхностных слоев с учетом структурного и фазового состава каждого конкретного металлического сплава.

Эффективность использования прерывистых кругов для устранения или значительного уменьшения шлифовочных дефектов (прижогов, трещин) исключает усталостное разрушение металла за счет циклического действия сил резания единичных зерен.

Литература

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологиестроения / Под общ. ред. Ф.В.Новикова и А.В.Якимова в десяти томах. – Т.7: Точность обработки деталей машин. – Одесса: ОНПУ, 2002. -546с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологиестроения / Под общ. ред. Ф.В.Новикова и А.В.Якимова в десяти томах. – Т.8: Оптимизация технол. процессов в машиностроении. – Одесса: ОНПУ, 2004. -509с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологиестроения / Под общ. ред. Ф.В.Новикова и А.В.Якимова в десяти томах. – Т.6: Качество обработки деталей машин. – Одесса: ОНПУ, 2003. -716с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологиестроения / Под общ. ред. Ф.В.Новикова и А.В.Якимова в десяти томах. – Т.2: Теплофизики резания материалов. – Одесса: ОНПУ, 2003. -625с.

Надійшла до редакції 19.01.2015