Иванова Т.Н. Технологическое прогнозирование остаточных напряжений при торцовом шлифовании пластин

Рубрика: 05.00.00 ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.

Выходные данные статьи:
Иванова Т.Н. Технологическое прогнозирование остаточных напряжений при торцовом шлифовании пластин. // Современные научные исследования и инновации. – Март, 2012. [Электронный ресурс]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2012/03/9956

УДК 621.782

Иванова Т.Н., к.т.н, доц.,

ГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

Аннотация. *В статье рассмотрены условия стабильности остаточных напряжений при шлифовании и методы их регулирования. Исследование напряженного состояния детали дает возможность установить взаимосвязь между технологическими параметрами процесса шлифования и характером распределения остаточных напряжений, что позволяет управлять качеством поверхностного слоя обрабатываемой детали.*

TECHNOLOGICAL FORECAST OF RESIDUAL STRESSES DURING FACE GRINDING OF PLATES

Ivanova T.N.

Tchaikovsky Branch of Perm National Polytechnic Research University

Abstract. The article examines stability criteria of residual stresses, caused by grinding, and methods of their adjustment. Analysis of the part under stress gives an opportunity to track the relationship between technological parameters of grinding process and the character of residual stresses distribution, which allows to monitor quality of surface layer of the processed part.

Особое место в технологическом процессе изготовления деталей занимают процессы финишных операций, которые позволяют обрабатывать с заданной точностью и шероховатостью детали из всех существующих и вновь создаваемых конструкционных материалов. Шлифование почти всегда завершающая операция обработки поверхности, поэтому очень важно достигнуть при выполнении этой

операции не только производительность, но и обеспечить требуемое качество поверхности.

Деформация детали, возникающая при механической обработке, непосредственно влияет на ее эксплуатационные и качественные показатели. Одной из главных причин, вызывающих деформацию детали, может быть нестабильность формы и размеров, возникающая за счет нарушения равновесия внутренних остаточных напряжений. Возможны следующие случаи изменения равновесия остаточных напряжений. Во-первых, под действием внутренних упругих напряжений могут протекать релаксационные процессы, при которых в упруго деформированных микрообъемах металла возникают пластические деформации, нарушающие равновесие внутренних напряжений. Снижение внутренних напряжений замедляет деформацию, а повышение внутреннего трения, ускоряет его. При этом необходимо учитывать то, что релаксационные процессы протекают во времени, и их скорость зависит от температуры металла. В нормальных условиях наблюдается некоторое нарастание деформации, а затем постепенное замедление из-за снижения внутренних напряжений. Частичный переход упругих деформаций в пластические носит дислокационный характер, и тормозится в металле, упрочненном, легированном, с наклепом или термической обработкой. Во-вторых, установившееся равновесие внутренних напряжений нарушается при удалении напряженных слоев металла в процессе механической обработки. Этот процесс при обработке пластин сопровождается значительными деформациями, что требует принятия специальных мер. Например, во время механической обработки длинных накладных направляющих строгальных станков путем установки специальных подкладок искусственно вызывают прогиб детали, который компенсирует прогиб, получающийся вследствие снятия напряженного слоя в процессе обработки. В-третьих, на равновесие остаточных напряжений существенно влияют внешние нагрузки, испытываемые деталью во время работы. Напряжения от рабочей нагрузки алгебраически складываются с внутренними напряжениями, и в тех микрообъемах, где суммарные напряжения превзойдут по величине предел текучести, возникают пластические деформации. Это приведет к перераспределению остаточных напряжений, нарушению их равновесия и, соответственно, деформации детали. По этой причине правка тонких пластин получивших деформацию в процессе термической обработки, не способствует стабилизации формы детали во времени. В-четвертых, равновесие остаточных напряжений может нарушиться под действием нагрева, вследствие создания благоприятных условий по протеканию релаксационных процессов из-за повышения подвижности дислокаций. Одновременно возможно появление тепловых напряжений вследствие возникновения неоднородного температурного поля. Особенно это следует ожидать при обработке плоских тонких пластин [1].

Деформированное состояние в каждой точке детали характеризуется относительными линейными деформациями $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$. Напряженное состояние при деформациях характеризуется главными напряжениями σ_x, σ_y, σ_z. Нормаль к площадке, на которую действует напряжение, рассматривается как направление линейной деформации. Проанализируем случай установки и закрепления пластины толщиной h при шлифовании по свободной поверхности. В течение всего процесса обработки она не имеет возможности расширяться в направлениях координат x и z, т.е. пластина закреплена по краям, например в сходящих призмах тисок.

Используя теорию малых упруго – пластических деформаций, интенсивность деформаций при нагружении определяется:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\varepsilon_y - \varepsilon_x)^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_y)^2} \quad (1)$$

Для первой схемы $\varepsilon_x = \varepsilon_z = 0,$ то интенсивность деформации

$$\varepsilon_{i\,\text{напр}} = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{2\varepsilon_y^2} = \frac{2}{3}|\varepsilon_y| = \frac{2\alpha_p q}{\sqrt{\pi a \tau}\, c\rho}\exp\left[-\frac{y^2}{4a\tau}\right] = 2\alpha_p\theta. \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности;

c – удельная теплоемкость;

τ – время контакта;

α_p – коэффициент линейного расширения;

ρ – плотность обрабатываемого материала.

Таким образом, интенсивность деформаций при постоянном коэффициенте линейного расширения α_p оказывается прямо пропорциональной температуре точки θ. Вследствие этого момент начала разгрузки в данной точке совпадает с моментом достижения максимальной температуры. Для начала разгрузки $\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial \tau} = 0,$ а интенсивность напряжений в этой точке описывается уравнением (2). Для определения момента начала разгрузки найдем частную производную $\frac{\partial \theta}{\partial \tau}$ и приравняем ее нулю. Тогда выражение для момента начала разгрузки можно написать так:

$$\tau_{\text{разг}} \quad \frac{y^2}{2a}, \quad (3)$$

Следовательно, в разных точках по глубине детали разгрузка наступает не одновременно. Установлено, что в каждый момент начала разгрузки и для каждой точки по глубине детали будет своя картина разгрузки.

Подставляя значение $\tau_{\text{разг}}$ (3) в уравнение (2), получим значение максимальной интенсивности деформации в момент разгрузки. После преобразований получаем

$$\varepsilon_{i\,max} - 2\sqrt{\frac{3}{\pi e^{-\frac{y^2}{4ai}}}\frac{a_p v}{c\rho}\cdot\frac{1}{y_{\text{гр}}}} \qquad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой уравнение равнобокой гиперболы. Если построить кривую $\varepsilon_{i\,max} = f(y)$ и на том же графике нанести кривую изменения по температуре интенсивности деформации $\varepsilon_{i(0,2)}$, соответствующей пределу текучести материала, то можно различить зоны пластических и упругих деформаций (рис. 1). Область, заштрихованная вертикальными линиями, представляет собой зону максимальных первичных пластических деформаций, распространяющихся до глубины $y_{\text{гр}}$. $\varepsilon_{i(0,2)}$ – это упругая составляющая интенсивности деформации, соответствующей пределу текучести $\sigma_{0,2}$. Значения $\sigma_{0,2}$ и модуля упругости *E* берут из диаграмм растяжения в зависимости от свойств обрабатываемого материала.

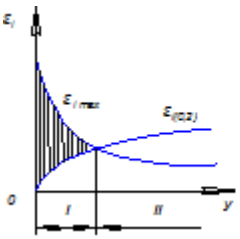

Рис. 1. Схема определения глубины зоны пластической деформации: I – зона пластической деформации, II – зона упругой деформации

Пластические деформации возникают при условии: $\varepsilon_i > \varepsilon_{i(0,2)}$.

Если принять $\varepsilon_i - \varepsilon_{i(0,2)}$, то можно найти глубину, до которой распространяется пластическая деформация, т.е. $y_{\text{гр}}$.

$$y_{\text{гр}} - 3\sqrt{\frac{3}{\pi e^{-\frac{y^2}{4ai}}}\cdot\frac{a_p v E}{c\rho\sigma_{0,2}(1+\mu)}}, \qquad (6)$$

Таким образом, если $y \geq y_{гр}$ то зона является упругой; если $y \leq y_{гр}$ то зона является пластической.

Учитывая закономерности интенсивности теплового источника от режимов шлифования, можно утверждать, что с увеличением глубины шлифования и твердости шлифовального круга величина $y_{гр}$ растет. И наоборот, эта величина снижается с повышением скорости детали при шлифовании $v_д$ и применением охлаждения. Уменьшение величины $y_{гр}$ тем заметнее, чем выше теплоотвод $\alpha_т$ и лучше смазывающие свойства жидкости (как, например, у масляных эмульсий). Изменение этих величин позволяет регулировать остаточные напряжения.

Подставляя найденные раньше значения $\varepsilon_{i max}$ и $\varepsilon_i(0,z)$ в уравнение (1, 2), получим

$$\varepsilon_{i\,max\,гр}^{p} - 2\sqrt{\frac{3}{\pi e^{-\frac{y^2}{4at}}} \cdot \frac{q_p q}{y c \rho}} - \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{0,z}}{E}(1+\mu) \qquad (7)$$

В конце процесса при $\tau \to \infty$ интенсивность остаточных напряжений будет

$$\sigma_{ii} - \left| \frac{2\sigma_{0,z}(1+\mu)}{3E} - 2\sqrt{\frac{2}{\pi e^{\frac{y^2}{4at}}} \cdot \frac{q_p q}{y c \rho}} \right|. \qquad (8)$$

Главные остаточные напряжения $\sigma_{x\,ост}$ или $\sigma_{z\,ост}$ равны между собой; третье главное напряжение, перпендикулярное обрабатываемой (свободной) поверхности пластины, $\sigma_y - 0$. Тогда

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y \quad \sigma_z)^2 + (\sigma_z \quad \sigma_x)^2} =$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_E^2} - |\sigma_x| - |\sigma_z| \qquad (9)$$

Используя соотношения из теории малых упруго – пластических деформаций:

$\sigma_x - \sigma - \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}(\varepsilon_x - \varepsilon)$ $\sigma_y - \sigma - \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}(\varepsilon_y - \varepsilon)$ и ,

и так как $\sigma_y - 0$ и $\varepsilon_x = 0$ и вычитая из первого соотношения второе, получаем

$$\sigma_x - \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}\left(-\varepsilon_y\right),$$

$$\varepsilon_i - \frac{2}{3}\left(\varepsilon_y\right), \qquad \sigma_x = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{2/3\left(\varepsilon_y\right)}\left(-\varepsilon_y\right) = -\sigma_i.$$

но значит

Следовательно, при нагружении вплоть до момента начала разгрузки знаки у напряжений отрицательные, т.е. имеют место сжимающие напряжения. В конце процесса при полном охлаждении знаки у σ_x и σ_z могут быть только положительные, т.е. до раскрепления остаточные напряжения у пластины – растягивающие.

После проведения теоретических исследований было выполнено моделирование остаточных напряжений с помощью пакета прикладной компьютерной программы по расчету пластин на прочность, разработанной на языке Delphi [4]. Результаты расчета, представлены на рис. 2.

Проведенные нами исследования показали, что регулирование остаточных напряжений можно осуществить следующими способами:

1) подбором режимов и условий плоского торцового шлифования;

2) применением оснастки, позволяющей снизить величину теплонапряженности детали;

3) изменением кинематики формообразования и геометрических параметров зоны контакта при плоском торцовом алмазном шлифовании;

4) введением в технологический процесс дополнительных операций обработки: отпуска, сквозного нагревания с последующим быстрым охлаждением.

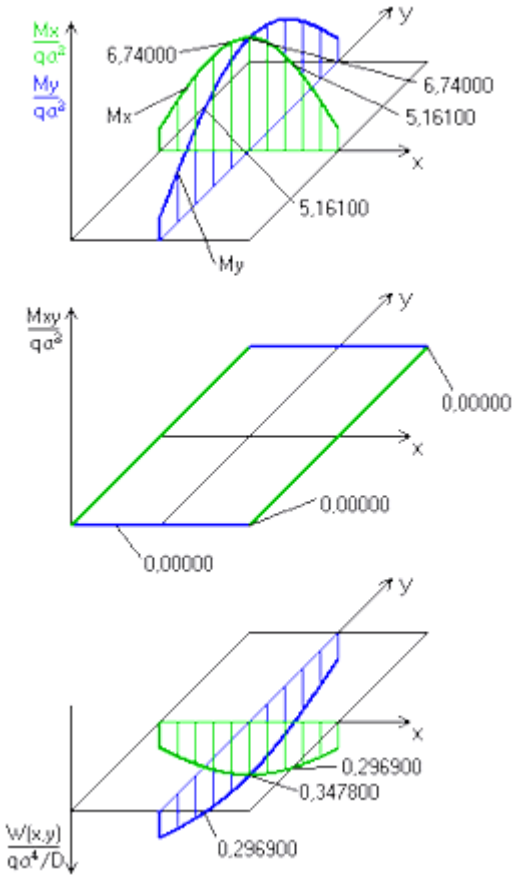

Рис. 2. Результаты расчета стальной прямоугольной пластины

Оптимальным вариантом решения задачи регулирования напряжений является комбинирование указанных способов.

Результаты наших исследований показали, что шлифование инструментами с прерывистой рабочей поверхностью обеспечивают снижение остаточных напряжений при одинаковом минутном съеме металла, по сравнению с инструментами сплошной режущей поверхностью. При увеличении съема металла в два раза остаточные напряжения при шлифовании инструментами с прерывистой рабочей поверхностью возрастают, однако остаются ниже, чем при шлифовании инструментом со сплошной режущей поверхностью с меньшим объемом. Причем необходимо отметить, что максимум напряжений смещается вглубь детали, удаляя область возможного появления трещин от поверхностного слоя и, тем самым, повышая предел выносливости детали. Наличие сжимающих остаточных напряжений значительно уменьшает вероятность возникновения трещин, поскольку в процессе ее образования напряжения растяжения должны преодолеть противодействия напряжений сжатия. Эффект тем значительнее, чем больше величина напряжений сжатия и глубина их залегания. Это объясняется изменением условий формообразования алмазоносного слоя и непосредственной подачей смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания. Однако при неблагоприятном сочетании режимов обработки область структурных изменений поверхностного слоя

может расшириться. Поэтому необходимо подбирать такие режимы торцового шлифования, которые бы обеспечивали сжимающие напряжения в поверхностном слое пластины.

Литература

1. Иванова, Т.Н. Перспективные направления в совершенствовании обработки плоских поверхностей шлифованием / ж. Обработка металлов. № 1(18), 2003. Стр. 16-18.
2. Технологические остаточные напряжения. / Под ред. А.В. Подзея. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
3. Расчеты на прочность и жесткость прямоугольных пластин. / Под ред. В.И. Добровольского. Ижевск: ИжГТУ, 2010. – 72 с.