УДК 531.621.9.0148

Д.Ю.ТИМОФЕЕВ, *канд. техн. наук, доцент, duck-tim@yandex.ru, 8(812) 328 89 36*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

D.Y.TIMOFEEV, *PhD in eng. sc., associated professor, duck-tim@yandex.ru, 8(812) 328 89 36*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТОЧЕНИЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В статье рассмотрены физические аспекты обработки деталей при предварительном локальном термическом воздействии для управления процессом сегментирования срезаемого слоя материала.

***Ключевые слова*:** стружкообразование, локальное термическое воздействие, сегментация.

PHYSICAL ASPECTS OF MATELCUTTING IN THE LOCAL INFLUENCE

The article describes the physical aspects of the machining blanks in the preliminary local thermal impact on the material are examined, they allow to operate the process of shaving segmentation at the mashing on the lathes.

***Key words*:** machining blanks, local thermal impact, segmentation.

Резание металла является сложным процессом, включающим деформационные процессы, пластическое течение, трение и разрушение металла в таких предельных условиях, которые обычно не встречаются ни при испытаниях материалов, ни в других технологических процессах.

Под действием режущего инструмента срезаемый слой подвергается сжатию. Процессы сжатия и растяжения сопровождаются упругими и пластическими деформациями. Наиболее приближенно этот процесс можно представить экспериментально полученной диаграммой растяжения стали (рис.1). В растягиваемом образце до точки *A* возникают упругие (обратимые) деформации, затем наступает текучесть металла (участок *AC*), после чего происходят пластические (необратимые) деформации, заканчивающиеся разрушением (разрывом). На диаграмме изменение процессов при растяжении образца из стали отражено характерными точками. Наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука до точки *A*, называется пределом пропорциональности $\sigma_п$. В пределах закона Гука тангенс угла наклона прямой $\sigma = f(\varepsilon)$ к оси ε определяется величиной модуля упругости *E*. До точки *B* образец не получает остаточных напряжений.

Упругие свойства образца сохраняются до напряжения σ_y, которое называется пределом упругости. В точке *C* происходит рост деформации без заметного увеличения нагрузки, что отражается пределом текучести $\sigma_т$. После точки *C* на поверхности образца образуется сетка линий Людерса – Чернова, представляющая собой следы сдвигов частиц материала.

По окончании стадии текучести материал вновь начинается сопротивляться деформации, здесь связь между силой и удлинением нелинейная: удлинение растет быстрее нагрузки.

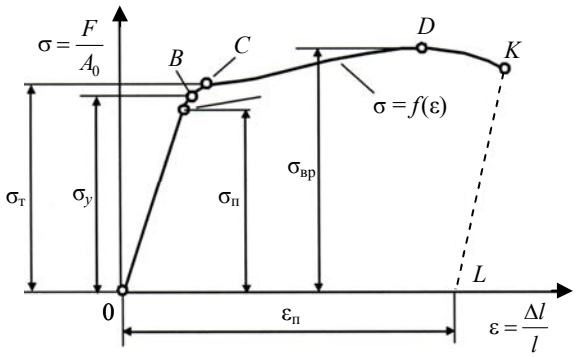


Рис.1. Диаграмма растяжения стали

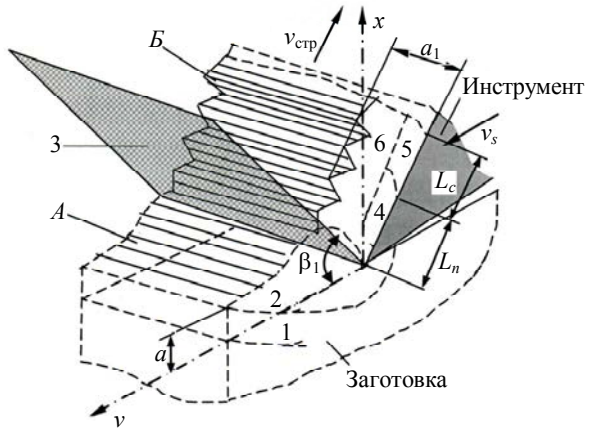


Рис.2. Схема взаимодействия режущего клина с обрабатываемым материалом

Точка *D* соответствует наибольшей нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения. Это положение отражается временным сопротивлением $\sigma_{вр}$ или пределом прочности.

Пластическое деформирование заключается в сдвиге одних слоев относительно других по плоскостям скольжения, которые совпадают в основном с направлением наибольших сдвигающих напряжений. Сдвиги происходят между отдельными частицами кристаллического зерна (монокристалла) и между самими зернами в поликристалле; в результате сдвигов изменяется форма зерен, их размер и взаимное расположение. Процесс пластического деформирования сопровождается большим тепловыделением и изменением свойств металла; одним из таких изменений является повышение твердости, а, следовательно, и хрупкости.

Процесс сжатия при резании отличается от обычного сжатия образца, заключенного между двумя сближающимися поверхностями, тем, что срезаемый слой связан с остальной массой заготовки. Поэтому, если обычное сжатие образца может быть названо свободным сжатием, то сжатие срезаемого слоя при резании можно назвать несвободным, и тогда основные закономерности свободного сжатия справедливы и для несвободного сжатия.

Процесс стружкообразования представляет собой процесс упругопластического деформирования (сжатия) срезаемого слоя.

Обтекая режущий клин, часть деформируемого материала перемещается по передней поверхности и превращается в стружку, другая часть (ниже линии среза) – по задней поверхности, образуя поверхностный слой детали (рис.2). Условно в деформируемом объеме выделяют несколько зон с различными характеристиками напряженно-деформированного состояния материала [1, 2].

В зоне 1 упругих и малых пластических деформаций зерна металла слегка вытягиваются и поворачиваются – появляется текстура. Напряжения в зоне достигают предела текучести. Начальная граница зоны характерна тем, что относительная деформация ε и скорость деформации $\dot{\varepsilon}$ равны нулю. Конечная граница первой зоны представляет собой поверхность, на которой скорость деформации достигает максимума ($\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_{max}$).

Распределение нормальных σ_i и касательных τ_i напряжений в зоне контакта передней поверхности инструмента со стружкой в соответствии с исследованиями [3] можно представить зоной пластического контакта L_n и зоной упругого контакта L_c (рис.2). Наиболее сильно по ширине контакта L_n изменяются нормальные напряжения. Возрастая от нуля в точке отрыва стружки, касательные напряжения τ_i резко замедляют свой рост в середине контакта и в пределах ширины зоны пластических деформаций L_n остаются почти постоянными. Это объясняется тем, что увеличение ограничено сопротивлением материала стружки сдвигу. После условной плоскости сдвига материал полностью деформирован и переходит в стружку.

Напряженно-деформированное состояние материала в зоне 2 характеризуется большими (конечными) пластическими деформациями, меньшими скоростями деформации $\dot{\varepsilon}$, увеличенной интенсивностью деформаций ε_i и напряжений σ_i. Зона 3 – плоскость сдвига стружки, наклоненная к плоскости резания под углом β_1 в направлении оси *y*. В зоне 4 осуществляется пластический контакт стружки с инструментом (область вторичной пластической деформации стружки), после чего происходит образование упругой деформации стружки в зоне 5 и последующие формирование в области 6 крупных внешних элементов стружки.

Скорость схождения стружки $v_{\text{стр}}$ по передней поверхности инструмента определяется отношением касательных τ_i напряжений к нормальным σ_i в каждой точке контакта. Наибольшее значение коэффициент трения имеет в точке отрыва стружки и постепенно уменьшается по мере приближения к режущей кромке. Возрастание касательных напряжений ограничено, поэтому, когда напряжение внешнего трения станет больше сопротивления материала стружки пластическому сдвигу, внешнее скольжение стружки будет сразу же заменено энергетически предпочтительными внутренними сдвигами в материале стружки.

На участке $L_c - L_n < x < L_n$ касательные напряжения остаются постоянными, и движение стружки осуществляется вследствие пластических деформаций ее контактного слоя, при этом нижний слой стружки снижает скорость движения по передней поверхности, что и приводит в совокупности к образованию крупных пилообразных элементов *Б* (пилообразной структуры). В результате этого образуется поверхностный слой обработанной детали. Обработанная поверхность характеризуется шероховатостью, а поверхностный слой – особыми физическими свойствами, значительно отличающимися от свойств исходной заготовки.

Можно менять периодичность больших пилообразных зубьев, увеличивая или уменьшая жесткость технологической системы, но это не меняет параметры тонкой основной периодической структуры. Изменение периодичности и направления условных плоскостей сдвига вызывают определенные свойства материала, особенно тип кристаллической решетки и энергия дефекта упаковки.

Основываясь на этом выводе, можно утверждать, что процесс сегментирования срезаемого слоя металла будет стабилен, если срезаемый слой периодически меняет свои свойства.

Для обеспечения устойчивого процесса сегментирования срезаемого слоя при точении заготовки, подвергнутой предварительному локальному температурному воздействию, необходимо определить глубину этого воздействия, которая не должна превышать величину снимаемого припуска. Поэтому определение параметров температурного воздействия является необходимым условием при предварительной подготовке заготовки перед обработкой.

Температурное воздействие на обрабатываемую поверхность заготовки по своей сути аналогично сварочным процессам, а нанесение линии локального термического воздействия (ЛТВ) соответствует схеме распространения тепла в полубесконечном теле.

Исходя из теории сварочных процессов, нагрев тел может осуществляться разнообразными источниками теплоты, различающимися между собой по распределенности, времени действия и движения их относительно тела. При определенных условиях все многообразие источников теплоты можно получить, пользуясь мгновенным точечным источником теплоты [4].

Мгновенный точечный источник теплоты – понятие абстрактное. Физической схемой источника можно считать такую, при которой в очень малый объем за малый промежуток времени вводится некоторое количество теплоты *Q*.

В последующие моменты времени теплота будет распределяться по телу, подчиняясь уравнению теплопроводности

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2}\right) = a\nabla^2 T, \quad (1)$$

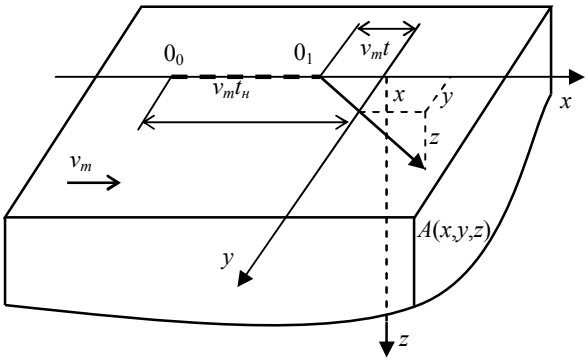


Рис.3. Схема движения непрерывно действующего точечного источника мощностью q_m, перемещающегося со скоростью v_m на поверхности полубесконечного тела

где ∇^2 – оператор Лапласа; $a = \lambda/(c\rho)$ – коэффициент температуропроводности, см^2/с; λ – теплопроводность, Вт/(см·К); c – удельная массовая теплоемкость, Дж/(г·К); ρ – плотность тела, г/см^3; T – температура или приращение температуры в точке равномерно нагретого тела [4].

Если начальная температура тела равномерна и равна $T_н$, то полное значение температуры равно $\Delta T + T$, где ΔT – приращение температуры. Используя принцип наложения и комбинируя мгновенные точечные источники, можно получить множество иных источников теплоты.

В нашем случае процесс нанесения линии локального термического воздействия по своей сути соответствует движущемуся источнику теплоты. Движущийся источник не может быть мгновенным, так как предполагается, что его движение протекает в течение некоторого отрезка времени, когда выделяется теплота. Точечный непрерывно действующий источник, продвигающийся из точки 0_0 в направлении x (рис.3), представляет собой движущийся источник [4].

При движении с постоянной скоростью v_m точечного источника теплоты постоянной мощности q_m прямолинейно из точки 0_0 в направлении оси x приращение температур в полубесконечном теле в стадии теплонасыщения

$$\Delta T = \frac{2q_m}{c\rho(4\pi a)^{3/2}} e^{-\frac{v_m t}{2a}} \int_0^{t_н} e^{-\frac{v_m^2 t}{4a} - \frac{R^2}{4at}} \frac{dt}{t^{3/2}}, \quad (2)$$

где $t_н$ – время, прошедшее с начала движения источника теплоты; $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$ – расстояние до рассматриваемой точки от начала координат, где была введена теплота (рис.3).

После продолжительного действия источника теплоты достигается так называемое предельное состояние, когда температура точек в подвижной системе координат перестает изменяться во времени. Такое состояние достигается при $t_н \to \infty$ и называется квазистационарным.

В этом случае уравнение (2) интегрируется после подстановки $R^2/(4at) = u^2$ и принимает вид

$$\Delta T_{пр} = \frac{q_m}{2\pi\lambda R} e^{-\frac{v_m}{2a}(R+x)}. \quad (3)$$

Выводы

1. Сливная стружка является показателем устойчивого процесса резания.

2. Для управления и автоматизации процесса сегментирования сливной стружки наиболее рациональным и надежным является способ предварительного локального термического воздействия на обрабатываемый материал заготовки.

3. Параметры термического воздействия можно задавать мощностью и скоростью движения источника теплоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вейц В.Л.* Локализация и неустойчивость пластической деформации в процессе стружкообразования при резании металлов / В.Л.Вейц, В.В.Максаров // Машиностроение и автоматизация производства: Межвуз. сб. Вып.13. СЗПИ. СПб, 1999. С.39-43.

2. *Вейц В.Л.* Физические основы моделирования стружкообразования в процессе резания / В.Л.Вейц, В.В.Максаров // Машиностроение и автоматизация производства: Межвуз. сб. Вып.13. СЗПИ. СПб, 1999. С.44-46.

3. *Вейц В.Л.* Динамика и моделирование процессов резания при механической обработке / В.Л.Вейц, В.В.Максаров, П.А.Лонцих. Иркутск, 2000. 189 с.

4. *Лившиц Л.С.* Металловедение для сварщиков. М., 1979. 243 с.

REFERENCES

1. *Weitz V.L., Maksarov V.V.* Localization and instability of plastic deformation during the chip formation in metal cutting // Mechanical Engineering and Automation. N.13. Saint Petersburg, 1999. P.39-43.

2. *Weitz V.L., Maksarov V.V.* Physical principles modeling of chip formation during cutting // Mechanical Engineering and Automation. N.13. Saint Petersburg, 1999. P.44-46.

3. *Weitz V.L., Maksarov V.V., Lonza P.A.* Dynamics and modeling of cutting for machining. Irkutsk, 2000. 189 p.

4. *Livshits L.S.* Metallography for welders. Moscow, 1979. 243 p.