

В.А. Марунич, канд. техн. наук, Днепропетровск, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Розглянуті фізичні процеси ковзного різання, які створюють умови для всемірного зниження опору оброблюваного матеріалу в зоні різання, зародження тріщини і її розвиток в певному напрямку. Розроблені нові методи обробки різанням металів : ковзне точіння і ковзне торцеве фрезерування, які створюють нові перспективи підвищення довговічності деталей машин.

Рассмотрены физические процессы скользящего резания, которые создают условия для всемерного снижения сопротивления обрабатываемого материала в зоне резания, зарождение трещины и ее развитие в определенном направлении. Разработаны новые методы обработки резанием металлов: скользящее точение и скользящее торцовое фрезерование, которые создают новые перспективы повышения долговечности деталей машин.

The physical processes of the sliding cutting, that create terms for the every kind decline of resistance of the processed material in the zone of cutting, origin of crack and its development, are considered in certain direction. The new methods treatment cutting of metals are worked out : sliding turning and sliding cutoff milling, that create the new prospects increasing of longevity details of machines.

Процесс скользящего резания материалов представляет собой сложный комплекс физико-химических явлений и процессов, которые возникают при скользящем силовом воздействии лезвия инструмента на заготовку. При этом происходит всемерное локальное снижение сопротивления обрабатываемого материала, зарождение трещины и ее развитие в определенном направлении [1-3].

Целью данной работы является установление особенностей процесса скользящего резания материалов, при которых происходит организация низкопрочного состояния контактной зоны заготовки и энергия деформации преобразуется в работу разрыва межатомных или межмолекулярных связей на более ранней стадии.

При скользящем движении режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности происходит удаление отдельных частиц с контактирующей поверхности. Это ряд отдельных процессов, которые протекают как независимо, так и взаимосвязано. Результатом этих процессов является удаление частиц обрабатываемого материала с контактирующей поверхности вследствие сложного взаимодействия локальных разрывов, сдвигов. Частицы удаляются с поверхности заготовки в результате режущего действия неровностей более твердой поверхностью режущей кромки с менее прочной обрабатываемой поверхности.

На основании гипотезы о механизме скользящего резания материалов и особенностей кинематики процесса [1], первоначальный контакт инструмента с заготовкой произойдет между вершиной выступа субшероховатости режу-

шей кромки, расположенной ближе к обрабатываемой поверхности и частицей обрабатываемого металла. В результате скользящего удара выступа субшероховатости по частице обрабатываемого металла в контактной зоне возникает явление скользящего ударного фреттинга, которое сопровождается образованием микротрещин (рис. 1). Скользящее движение выступов субшероховатости и шероховатости режущей кромки по обрабатываемой поверхности включает новые последующие скользящие ударные взаимодействия выступов с частицами обрабатываемого металла и явление скользящего ударного фреттинга последовательно распространяется по контактной поверхности на рабочую длину кромки Кр

$$K_p = \frac{S}{\cos \lambda},$$

где S – подача;

λ – угол наклона режущей кромки.

На участках вскрытой поверхности заготовки адсорбируется газ и происходит ее окисление. Дальнейшее силовое воздействие режущей кромки на обрабатываемый материал разрушает пленку оксида, активируя абсорбцию кислорода, который также стирается последующими силовыми воздействиями. Таким образом, проявляется химическая составляющая разрушения контактной поверхности заготовки при скользящем ударном фреттинге.

Кроме того, микроскопические вершины выступов режущей кромки при скольжении способствуют отрыву микрочастичек обрабатываемого металла с контактной поверхности заготовки. В результате проявляется механическая составляющая скользящего ударного фреттинга.

Очевидно, что в зависимости от параметров режима скользящего резания и условий его протекания разрушение контактной поверхности заготовки происходит как от одного из факторов, так и взаимосвязано.

Известно, что во всех случаях контакта скользящих (трущихся) поверхностей двух тел имеет место явление адгезионного износа. Причем он проявляется во всех случаях контакта скользящих поверхностей двух твердых тел и имеет место даже тогда, когда других видов износа нет.

В результате скользящего силового воздействия более прочных выступов неровностей режущей кромки с выступами неровностей обрабатываемого материала происходят локальные высокие давления в контактной зоне, превышающие предел текучести обрабатываемого металла и возникают локальные упругопластические деформации. Тесный контакт, являющийся следствием локальных пластических деформаций, сближает атомы контактирующих металлов настолько, что начинают действовать межатомные силы сцепления. Этот процесс называют холодной сваркой [4]. Продолжая скользящее движение, выступы неровностей режущей кромки разрушают образовавшиеся соединения холодной сварки (рис. 2) и происходит отрыв микрочастиц от

обрабатываемого металла. Следовательно, продолжается принудительная организация низкопрочных состояний контактной зоны.

Принимаем ряд допущений для теоретического расчета совершаемой силой резания работы при адгезионном износе контактной зоны заготовки.

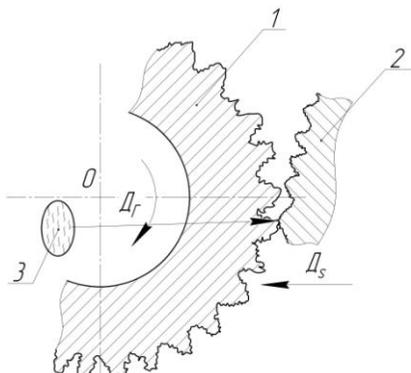


Рисунок 1 – Схема концентрации напряжений, возникающей при силовом скольжении воздействию неровностей режущей кромки на неровности заготовки при точении: 1 – заготовка; 2 – режущая кромка; 3 – микротрещины фреттинга

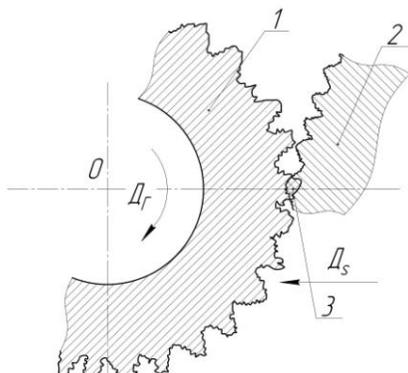


Рисунок 2 – Схема адгезионного износа при скользящем точении: 1 – заготовка; 2 – режущая кромка; 3 – место холодной сварки

Анализируем профилограммы шероховатостей поверхностей [3] и делаем допущение, что вершины выступов неровностей режущей кромки представляют собой конус. При внедрении в обрабатываемый металл действительная площадь контакта равна площади боковой поверхности внедренного конуса $A_k = \pi r l_k$, где r – радиус основания конуса; l_k – образующая конуса.

Сила F с которой конус внедряется в обрабатываемый материал равна

$$F = A_k \cdot \sigma_m = \pi r l_k \sigma_m \quad (1)$$

где σ_m – предел текучести обрабатываемого металла.

Рабочую длину режущей кромки K_p приравняем к числу из ряда базовых длин l для измерения шероховатости: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25мм [5,6], таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$K_p = \frac{S}{\cos \lambda} = 0,25 .$$

Количество внедренных в обрабатываемый материал выступов шероховатости режущей кромки за рабочий цикл равно

$$N = \frac{K_P}{S_{c.u.}} + I = \frac{S}{\cos \lambda \cdot S_{c.u.}} + I = \frac{0,25}{S_{c.u.}} + I, \quad (2)$$

где $S_{c.u.}$ – средний шаг местных выступов [6] в пределах базовой длины ($l=0,25$).

Сила F_N внедрения всех выступов шероховатости режущей кромки с учетом (1) и (2) при адгезионном износе за рабочий цикл равна

$$\begin{aligned} F_N &= A_K \cdot \sigma_m \cdot N = \pi r_k \cdot \sigma_m \cdot \left(\frac{0,25}{S_{c.u.}} + I \right) = \\ &= \frac{0,25 \pi r_k \sigma_m}{S_{c.u.}} + \pi r_k \sigma_m = \frac{S \pi r_k \sigma_m}{\cos \lambda \cdot S_{c.u.}} + \pi r_k \sigma_m \end{aligned} \quad (3)$$

Работа $A_{a.u}$ за рабочий цикл при адгезионном износе равна

$$A_{a.u} = F_N \pi D = \frac{S \pi^2 r_k \sigma_m D}{\cos \lambda \cdot S_{c.u.}} + \pi^2 r_k \sigma_m D \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) следует, что с увеличением угла наклона режущей кромки λ работа $A_{a.u}$ увеличивается. Это связано с увеличением рабочей длины режущей кромки. Однако в данном случае это обстоятельство играет положительную роль, поскольку адгезионный износ снижает прочность контактной зоны заготовки при малых энергетических затратах.

Дальнейшее более глубокое внедрение неровностей режущей кромки в обрабатываемую заготовку при переходе порога адгезионного износа приводит к процессу микрорезания материала или упругопластическому деформированию.

Микрорезание наиболее полно исследовано в работах [7-10]. Эти исследования базировались на условии резания единичным зерном и предположении, что часть зерна, прилегающая к его вершине, имеет форму окружности радиусом R . Неровности режущей кромки, выполняющей скользящее резание, имеют форму конуса. В этой связи, предложенную формулу (4) можно использовать для расчета работы микрорезания $A_{m.p.}$. Для этого заменяем действительную площадь контакта, равную площади боковой поверхности конуса, на площадь усеченного конуса в результате перехода порога адгезионного износа к началу процесса микрорезания.

Таким образом, формула (4) принимает вид для определения работы микрорезания

$$A_{m.p} = \pi(r+r_1)l_m\sigma_m\pi D = \frac{S\pi^2(r+r_1)l_m\sigma_m D}{\cos\lambda \cdot S_{c.u}} + \pi^2(r+r_1)l_m\sigma_m D$$

где r_1 – радиус нижнего основания конуса;
 l_m – образующая усеченного конуса.

Механическая работа, совершаемая силой скользящего резания за рабочий цикл, на первичном этапе контактного взаимодействия кромки с заготовкой, направлена на проявление механической составляющей скользящего ударного фреттинга A_ϕ и работу адгезионного износа $A_{a.u}$. Эта работа численно равна энергетическим затратам на образование микротрещин в контактной зоне, которые резко снижают прочность заготовки.

При переходе порога адгезионного износа совершается работа микрорезания $A_{m.p}$, которая численно равна энергетическим затратам на отделение с контактной зоны заготовки микроэлементов стружки.

Таким образом, A_ϕ , $A_{a.u}$ и $A_{m.p}$ являются основными показателями первичных процессов скользящего резания, сравнительно малы по своей величине и не требуют дополнительных мероприятий по их уменьшению, но при этом решают важную задачу по принудительной организации низкопрочного состояния контактной зоны заготовки.

Далее рассматриваем напряженное состояние в контактной зоне (плоскость резания) непосредственно перед режущей кромкой. Как уже было сказано, что контакт режущей кромки с обрабатываемым материалом начинается с выступа субшероховатости, расположенным ближе к этому материалу. В связи с тем, что скорость главного движения резания \bar{V} более чем на четыре порядка больше скорости подачи \bar{V}_s $\bar{V} \gg \bar{V}_s$, то выступ субшероховатости, оказывая силовое воздействие на частицу обрабатываемого материала под действием главной составляющей силы резания P_Z , создает в ней напряженное состояние, а затем, упругодеформируя, стремится ее оторвать.

Таким образом, в малом объеме частицы обрабатываемого материала под действием главной составляющей силы резания P_Z создаются напряжения растяжения, и в результате их действия совершается работа упругой деформации.

Рассматриваем эту частицу обрабатываемого материала до действия составляющей силы резания P_Z . Атомы в ней занимают положения, соответствующие равновесию сил межатомного взаимодействия. Под влиянием силы P_Z атомы частицы смещаются из своих первоначальных положений, их взаимное расположение изменяется, т.е. она деформируется. В результате смещения атомов возникают внутренние силы, стремящиеся возратить их в исходное положение. Благодаря тому, что силы межатомного взаимодействия в металлах быстро убывают с увеличением расстояния между атомами, можно

считать, что каждый атом взаимодействует только с атомами, находящимися от него на расстояниях порядка постоянной решетки.

Предположим, что частица обрабатываемого материала представляет собой бесконечно малый элемент объема $dV=dx_1dx_2dx_3$, который находится в естественном состоянии, до скользящего силового воздействия в виде прямоугольного параллелепипеда с ребрами dx_i , направленными координатным осям x_i в момент времени t_0 . Рассматриваем контактное взаимодействие в результате действия составляющей силы P_Z за время Δt , при котором вектор смещения точек частицы обрабатываемого материала U изменяется на $\Delta\omega_i$, а, следовательно, его компоненты U_i в каждой точке тела претерпели бесконечно малые изменения:

$$U_i \rightarrow U_i + \Delta U_i \quad (5)$$

Сила внутренних напряжений, действующая на грань с площадью dx_2dx_3 , перпендикулярную оси x_1 и лежащая при значении x_1 , при смещении (5) совершает работу, равную скалярному произведению этой силы на перемещение

$$dAx_1 = -(\sigma_{11}\Delta U_1 + \sigma_{21}\Delta U_2 + \sigma_{31}\Delta U_3)dx_2dx_3$$

На противоположной грани, лежащей при значении x_1+dx_1 , за это же время совершается работа

$$dAx_1 + dx_1 = (\sigma_{11}\Delta U_1 + \sigma_{21}\Delta U_2 + \sigma_{31}\Delta U_3)dx_2dx_3 + \\ + \frac{d}{dx_1}(\sigma_{11}\Delta U_1 + \sigma_{21}\Delta U_2 + \sigma_{31}\Delta U_3)dx_1dx_2dx_3$$

Суммарная работа, совершаемая силами внутренних напряжений на этих двух гранях, равна

$$dAx_1 + dAx_1 + dx_1 = \frac{d}{dx_1}(\sigma_{11}\Delta U_1 + \sigma_{21}\Delta U_2 + \sigma_{31}\Delta U_3)dV \quad (6)$$

Рассматриваем таким же способом работу на гранях, перпендикулярных осям x_2 и x_3 получаем:

$$\left. \begin{aligned} dAx_2 + dAx_2 + dx_2 &= \frac{d}{dx_2}(\sigma_{12}\Delta U_1 + \sigma_{22}\Delta U_2 + \sigma_{32}\Delta U_3)dV \\ dAx_3 + dAx_3 + dx_3 &= \frac{d}{dx_3}(\sigma_{13}\Delta U_1 + \sigma_{23}\Delta U_2 + \sigma_{33}\Delta U_3)dV \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

На элемент объема dV действует внешняя объемная сила $\overline{P_{ZV}}dV$, где $\overline{P_{ZV}}$ – сила, отнесенная к единице объема. На перемещении $\Delta\overline{U}$ она совершает работу

$$dA_V = \overline{P_{ZV}}\Delta\overline{U}dV = (P_{ZV1}\Delta U_1 + P_{ZV2}\Delta U_2 + P_{ZV3}\Delta U_3)dV \quad (8)$$

Складывая (6), (7) и (8), производим дифференцирование по координатам x_i и принимаем во внимание, что в равновесии справедливы условия [11]:

$$\sum_{\kappa=1}^3 \frac{d\sigma_{i\kappa}}{dx_{\kappa}} + P_{ZV} = 0,$$

благодаря чему многие слагаемые сокращаются. Определяем полную работу, совершаемую силами напряжений, действующих на выбранный элемент объема при его бесконечно малой деформации. При этом удельная работа ΔA , отнесенная к единице объема, равна:

$$\begin{aligned} \Delta A = & \sigma_{11} \frac{d}{dx_1} \Delta U_1 + \sigma_{21} \frac{d}{dx_1} \Delta U_2 + \sigma_{31} \frac{d}{dx_1} \Delta U_3 + \sigma_{12} \frac{d}{dx_2} \Delta U_1 + \\ & + \sigma_{22} \frac{d}{dx_2} \Delta U_2 + \sigma_{32} \frac{d}{dx_2} \Delta U_3 + \sigma_{13} \frac{d}{dx_3} \Delta U_1 + \sigma_{23} \frac{d}{dx_3} \Delta U_2 + \sigma_{33} \frac{d}{dx_3} \Delta U_3 \end{aligned} \quad (9)$$

Принимая во внимание симметрию тензора напряжений ($\sigma_{i\kappa} = \sigma_{\kappa i}$), а также возможность переставить порядок дифференцирования по координатам $\frac{d}{dx_i}$ и

берем приращения Δ при изменении времени, из (9) получаем

$$\Delta A = \sigma_{11} \Delta \varepsilon_{11} + \sigma_{22} \Delta \varepsilon_{22} + \sigma_{33} \Delta \varepsilon_{33} + 2\sigma_{12} \Delta \varepsilon_{12} + 2\sigma_{13} \Delta \varepsilon_{13} + 2\sigma_{23} \Delta \varepsilon_{23}. \quad (10)$$

Симметрия тензоров напряжений $\sigma_{i\kappa}$ и деформации $\varepsilon_{i\kappa}$ позволяет выражение (10) записывать в виде двойной суммы по всем значениям i и κ :

$$\Delta A = \sum_{i,\kappa=1}^3 \sigma_{i\kappa} \Delta \varepsilon_{i\kappa}. \quad (11)$$

Анализируя полученный результат (11) удельной работы упругой деформации обрабатываемого материала, делаем предположение.

Для уменьшения работы упругой деформации A необходимо образование внутренних растягивающих напряжений, охрупчивание обрабатываемого материала, а также необходимо свести к минимуму контактную зону инструмента с заготовкой.

Далее рассматриваем контактное взаимодействие за время $\Delta t + \Delta t'$ в момент времени действия двух взаимно перпендикулярных сил: главной составляющей силы резания P_Z , которая создает напряжения растяжения и осевой составляющей P_X , создающая напряжения сжатия.

Из курса сопротивления материалов известно, что при действии сил во взаимно перпендикулярных направлениях имеет место плоское напряженное состояние и чистый сдвиг (срез) (рис.3).

Под действием составляющих P_Z и P_X создается единственное внутреннее усилие Q , возникающее в сечении $dx dy$ элементарной частицы при сдвиге, которая лежит в плоскости этого сечения и создает только касательные напряжения τ_{xy} .

При сдвиге условно считают, что касательные напряжения равномерно распределены по площади поперечного сечения ($\tau = const$), поэтому $Q = \tau_{xy} dx dy$.

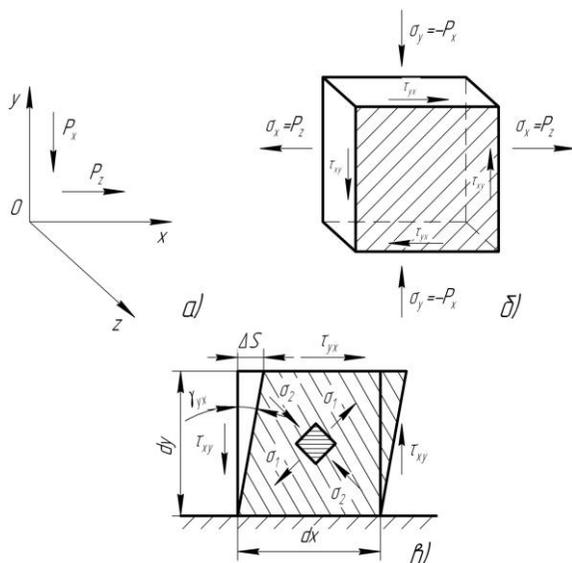


Рисунок 3 – Схема плоского напряженного состояния в контактной зоне:
 а) – составляющие силы резания в декартовой системе координат; б) – напряженное состояние частицы обрабатываемого металла в начальный момент чистого сдвига;
 в) – напряженное состояние частицы обрабатываемого материала в конечный момент чистого сдвига

Тогда касательные напряжения в элементарной частице контактной плоскости (плоскости резания) определяем так

$$\tau_{yx} = \frac{Q}{dxdy} = \frac{P_Z - P_X}{dxdy} \quad (12)$$

Из курса сопротивления материалов известна формула для определения касательного напряжения τ при плоском напряженном состоянии и действии сил растяжения и сжатия

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha \quad (13)$$

Подставляем в (11) вместо σ_1 и σ_2 составляющие силы резания P_Z и P_X и учитывая, что $\sin 2\alpha = 1$, получаем

$$\tau_{yx} = \frac{P_Z - P_X}{2} \quad (14)$$

Рассматриваем деформацию элементарной частицы при чистом сдвиге (рис. 3). Поскольку по граням элементарной частицы не действуют нормальные напряжения, то вдоль граней нет и удлинений. В то же время диагональ, совпадающая с направлением растягивающей составляющей силы резания P_Z , удлиняется, а другая диагональ, совпадающая с направлением сжимающей

составляющей силы резания P_X , укорачивается. В результате квадрат трансформируется в ромб без изменения длины граней. Таким образом, деформация элементарной частицы характеризуется изменением первоначальных прямых углов (рис. 3, в).

При сдвиге существует зависимость между относительным сдвигом γ_{yx} и абсолютным сдвигом ΔS

$$\gamma_{yx} = \frac{\Delta S}{dy} \quad (15)$$

По закону Гука касательное напряжение

$$\tau_{yx} = G \cdot \gamma_{yx} \quad (16)$$

где G – модуль упругости.

Подставляя выражение (12) и (15) в формулу (16) получаем выражение для абсолютного сдвига элементарной частицы обрабатываемого металла при скользящем резании

$$\Delta S = \frac{P_Z - P_X}{Gdx} \quad (17)$$

где dx – расстояние между сдвигаемыми гранями.

А подставляя выражение (14) и (15) в формулу (16), получаем

$$\Delta S = \frac{(P_Z - P_X)dy}{2} \quad (18)$$

Удельная потенциальная энергия деформации при сдвиге

$$U = \frac{\tau_{yx}^2}{2G} = \frac{(P_Z - P_X)^2}{8G} \quad (19)$$

Внутреннее усилие Q , равное разности составляющих сил резания ($P_Z - P_X$) совершает работу на перемещении ΔS

$$A = (P_Z - P_X)\Delta S = \frac{(P_Z - P_X)^2 dy}{2} \quad (20)$$

Таким образом, при скользящем резании вся потенциальная энергия расходуется только на изменение формы элементарных частиц обрабатываемой поверхности в направлении действия главной составляющей силы резания P_Z , а изменение их объема в контактной зоне равно 0.

На основании выше изложенного и анализируя полученные зависимости (11), (19) и (20) становится очевидным, что при скользящем резании металлов существенно снижается энергоемкость и работа процесса отделения стружки по сравнению с традиционной лезвийной обработкой материалов.

Совокупность известных явлений – скользящий ударный фреттинг; адгезионный износ; процесс микрорезания, которые проявляются как в отделимости, так и взаимосвязано с новым для процесса резания распределением напряжений разного характера растяжения и сжатия в контактной зоне инструмента с заготовкой открывают неизвестную до настоящего времени законо-

мерность отделения срезаемого слоя и создают перспективы технологического повышения долговечности деталей машин.

Многие эксплуатационные свойства машин – износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность, герметичность соединений, коррозионная стойкость, электро- и теплоспротивление контактов и другие – определяются контактным взаимодействием деталей. Эти свойства неразрывно связаны с поверхностным слоем деталей, полученным в результате обработки заготовок резанием. Поверхностный слой деталей, его геометрические характеристики и физико-химическое состояние определяют качественно новую совокупность свойств изделий, их надежность, долговечность.

В результате применения традиционных методов обработки – точения, фрезерования, шлифования – фактическая площадь контакта в первоначальный момент не превышает 25-30% расчетной, а в ряде случаев составляет 5-10%. Это приводит к большим контактным давлениям и деформациям, оказывающим значительное влияние на процессы, протекающие в соединении – трение и износ, фреттинг-коррозию, перемещения, определяющие контактную жесткость и виброустойчивость, надежность посадок и т.д. В результате, до 80% отказов в работе машин происходит вследствие износа деталей в узлах трения [12].

В этой связи технологическое повышение износостойкости соединений является важной народнохозяйственной задачей.

Образование низкопрочного состояния обрабатываемого материала в контактной зоне, в результате проявления физических процессов и явлений, описанных выше, при определенном распределении напряжений разного характера растяжения и сжатия, создается новая закономерность отделения срезаемого слоя. Таким образом, решается важная научная проблема – преобразование энергии деформации в работу разрыва межатомных или межмолекулярных связей на более ранней стадии. Поверхностный слой, полученный при низких энергетических затратах, имеет качественно новую совокупность свойств по сравнению с поверхностным слоем, полученным при традиционном резании. В этой связи, открываются новые перспективы технологического повышения долговечности деталей машин.

Для реализации новой закономерности отделения срезаемого слоя материалов разрабатываем специальные методы механической обработки: скользящее точение [13] и скользящее торцовое фрезерование [14-16].

Скользящее точение (рис.4) отличается от традиционного тем, что процесс резания осуществляют одной режущей кромкой, установленной под углом $70^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$ к оси вращения заготовки. Такое расположение режущей кромки в принципиальной кинематической схеме продольного точения вносит новые контактные взаимодействия инструмента с заготовкой. В результате, в контактной зоне протекают физические процессы, описанные выше, и

формируется на заготовке поверхностный слой с улучшенными геометрическими характеристиками.

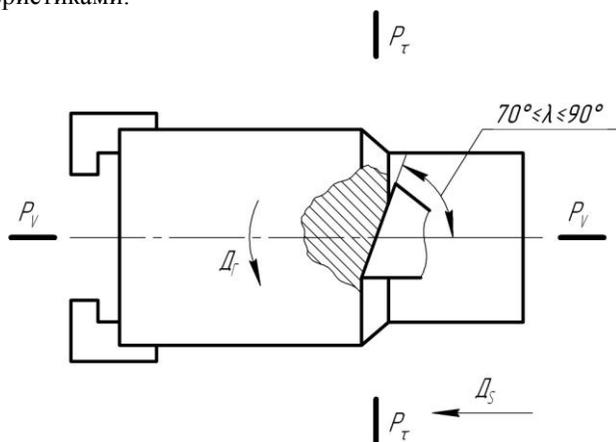


Рисунок 4 – Схема продольного скользящего точения с углом наклона режущей кромки $70^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$

Для сравнения с традиционным резанием берем образец – вал, изготовленный точением американской фирмой HAAS на токарном станке с ЧПУ мод. TL-1, и измеряем на нем параметры шероховатости с помощью информационно-вычислительного комплекса мод. 170623.1 (рис.5).

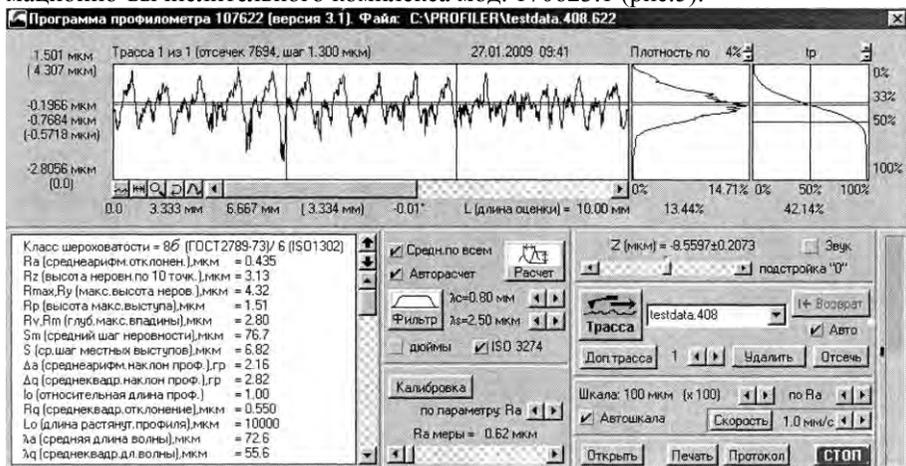


Рисунок 5 – Профилограмма шероховатости поверхности образца фирмы HAAS

Затем обрабатываем этот образец – вал – методом скользящего точения на том же станке и измеряем параметры шероховатости (рис. 6). Сравним

полученные результаты: Ra – уменьшен в 2,1 раза; Rz – уменьшен в 2,3 раза; $Rmax$ – уменьшен в 2,9 раза; Sm – уменьшен в 2,9 раза.

Таким образом, поверхностный слой, полученный при скользящем точении, существенно увеличивает износостойкость сопрягаемых деталей. Внедрение скользящего точения в производство открывает новые перспективы технологического повышения долговечности деталей машин.

Для реализации процесса скользящего торцового фрезерования металлов предлагаем две принципиальные кинематические схемы: скользящее фрезерование заготовок при малых глубинах резания или тонкое скользящее фрезерование (рис. 7) и скользящее фрезерование заготовок с большим припуском при большой глубине резания (рис. 8).

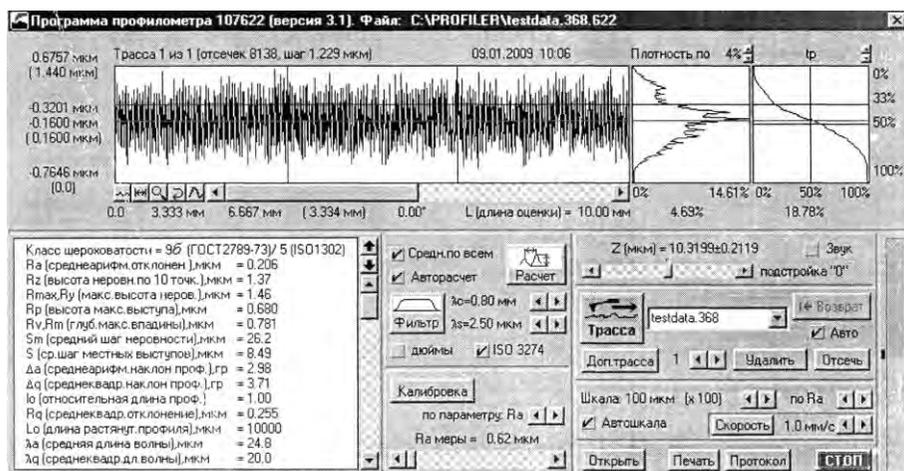


Рисунок 6 – Профилограмма шероховатости поверхности образца, полученной при скользящем резании

Точки режущей кромки постепенно врезаются в обрабатываемый материал 4 со смещением (скольжением) в направлении скорости резания \bar{V} . Таким образом, имеет место эффект скольжения кромки по поверхности резания.

Вторую принципиальную кинематическую схему реализуют два автономно работающих зуба.

Один из зубьев, названный отрезным, совершая вращательное движение (рис. 8), срезает припуск 2 заготовки 3, движущейся поступательно в плоскости $P'n$ как свободным, так и несвободным резанием, а припуск 4 срезает зуб 5, названный подрезным, скользящим резанием в плоскости P_n , совпадающей с обработанной поверхностью. При этом режущая кромка 6 подрезного зуба 5

находится ниже торцевой поверхности зуба 1 и решает главную задачу по обеспечению качества поверхностного слоя.

Торцевой фрезе с рабочим зубом 1 (рис. 7) сообщается вращательное движение Δz , а заготовке 2 поступательное движение подачи Δs . Режущая кромка 3, расположенная в плоскости резания, выполняет свободное резание и составляет с основной плоскостью P_v угол $70^\circ \leq \lambda < 90^\circ$.

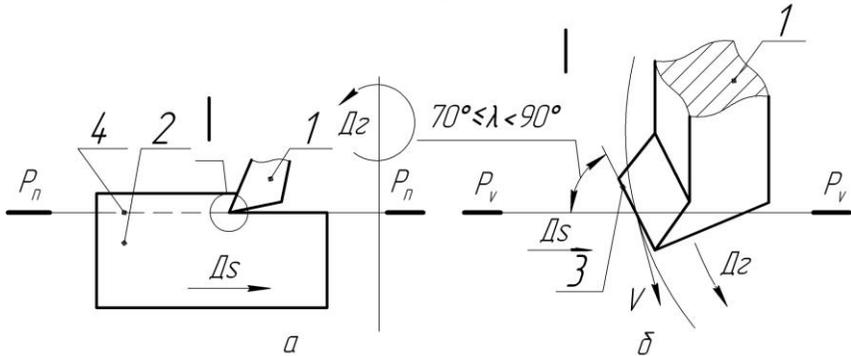


Рисунок 7 – Схема скользящего торцевого фрезерования при малых глубинах резания

Таким образом, отрезной зуб работает по традиционной схеме резания, а подрезной зуб по скользящей схеме резания. При этом отрезной зуб опережает подрезной, срезая большую часть припуска в плоскости, перпендикулярной обработанной поверхности.

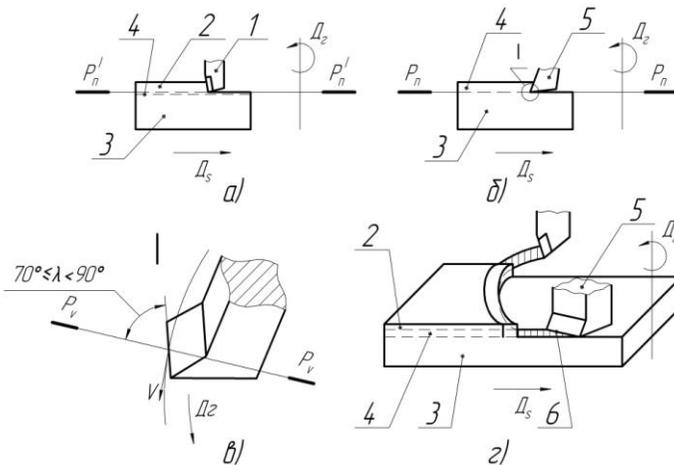


Рисунок 8 – Схема скользящего торцевого фрезерования при больших глубинах резания

Выводы:

1. Установлены особенности процесса скользящего резания материалов, при которых происходит организация низкопрочного состояния контактной зоны заготовки, а энергия деформации преобразуется в работу разрыва межмолекулярных или межмолекулярных связей на более ранней стадии.

2. Определены основные физические процессы в контактной зоне инструмента с заготовкой, сопровождающие скользящее резание металлов, их последовательность, и установлено, что при скользящем резании имеет место плоское напряженное состояние, сопровождающееся чистым сдвигом. Выведены зависимости удельной потенциальной энергии и работы абсолютного сдвига от составляющих силы резания P_Z и P_X .

3. Созданы новые методы обработки материалов, реализующие процесс скользящего резания: скользящее точение и скользящее торцовое фрезерование, которые открывают перспективы технологического повышения долговечности деталей машин. Показано, что полученный поверхностный слой детали методом скользящего точения улучшает его геометрические характеристики более чем в 2 раза: $Ra=0,2$; $Rz=1,37$; $Rmax=1,46$; $Sm=26,2$.

Список использованных источников: 1. *Марунич В.А.* Новый процесс скользящего резания материалов. / Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк, 2009. – вып. 38. – С.133-138. 2. *Марунич В.А.* Повышение эффективности лезвийной обработки материалов. / Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков, 2010. – Вып. 78. – С.109-118. 3. *Марунич В.А.* Новая закономерность отделения срезаемого слоя при механической обработке материалов // Теория и практика металлургии. - Днепропетровск : НМетАУ, 2011, №5-6 Ч.1 – С. 40-47 4. *Крагельский И.В.* Трение и износ. Изд. 2-е перераб. и доп. М., изд-во «Машиностроение», 1968. 480с. 5. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т./ Под ред. И.Н. Жестковой – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. 6. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. 7. *Байкалов А.К.* Введение в теорию шлифования материалов. – К.: Наук. думка, 1978. – 207с. 8. *Грибченко А.И.* Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов. – Диссертация в форме научного доклада на соискание ученой степени докт. техн. наук. – Харьков, 1995. – 59с. 9. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.4. «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов» – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802с. 10. *Матюха П.Т.* Определение напряжений сдвига в срезаемом слое при шлифовании высоколегированных и быстрорежущих сталей. – Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сб. научно-техн. Тр. Под общ. Ред. А.Н. Михайлова. – Донецк: ДонГТУ, 1994, вып. 1. – С. 56-64. 11. *Лурье А.И.* «Теория упругости». – М.: Наука, 1970. – 939с. 12. *Э.В. Рыжов.* Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наук. думка, 1984. – 272с. 13. Пат. України 91939. Спосіб ковзано чого точіння / В.О. Марунич. Бюл. №17 – 2010. 14. Пат. України 88094. Спосіб обробки матеріалів різанням / В.О. Марунич. Бюл. №17 – 2009. 15. Пат. Росії 2031790. Спосіб обробки матеріалів різанням / В.А. Марунич. Бюл. №9 – 1995. 16. Пат. України 19905. Спосіб обробки матеріалів різанням / В.О. Марунич. Бюл. №1 – 2007.

Поступила в редколлегию 23.06.2012