

В целом для решения сформулированной задачи оптимизации необходимо разработать аналитические модели, позволяющие оценивать альтернативные варианты программ обучения с точки зрения их эффективности, т.е. обеспечения требуемого уровня безопасности, так и стоимости и ресурсных потребностей.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что задача оптимизации структуры, объема и содержания учебных планов и программ обучения специалистов является актуальной, так как позволяет обучающим организациям (работодателю) обеспечить связь содержания программы подготовки с задачами, решаемыми специалистами на современном производстве, и, тем самым, повысить качество и эффективность учебного процесса.

Практическая значимость исследования заключается в разработке научно обоснованного системного подхода по оптимизации программ повышения профессиональной квалификации специалистов машиностроения с учетом опасности выполняемых работ. При этом разработанный научно-методический аппарат позволит обеспечить возможность формирования гибких (адаптивных) программ обучения, где структура, содержание и время, отводимое на подачу информации, варьировались бы в зависимости от уровня опасных и вредных производственных факторов и сложности той или иной профессии. Предлагаемый подход должен отличаться не только своей универсальностью, но и относительной простотой в применении.

Литература

1. Человеческий фактор в управлении: Сборник статей / Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига, 2006. – 496 с.
2. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем – Л.: Наука: Ленингр. отделение, 1982. – 269 с.
3. Острейковский В.А. Теория надежности: Учебник для вузов. – Изд. 2-е, испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 462 с.
4. Майструк А.В. Управление безопасностью эксплуатации сложных технических систем: Математические методы и практика их применения. Монография. - М.: ВА РВСН, 2007. – 256 с.
5. Трудовой кодекс Российской Федерации. – М.: Издательство «Безопасность труда и жизни», 2008. – 312 с.
6. Доклад о состоянии условий и охраны труда по городу Москве за 2009 год. – М.: Минздравсоцразвития, 2010. – 57 с.
7. Доклад о реализации государственной политики в области охраны труда в Российской Федерации в 2008 году / Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации – М.: Минздравсоцразвития, 2009. – 59 с.
8. Примерная программа обучения по охране труда работников организаций / Минтруд Российской Федерации, 2004.
9. Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003г. № 1/29 "Об утверждении Порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций".
10. Сайт Международной организации труда <http://www.ilo.org> .

Сопоставительный анализ методов расчета процесса резания (к разработке аналитической методики расчета процессов резания)

д.т.н. проф. Максимов Ю.В., д.т.н. проф. Оленин Л.Д., Шапаровская М.А.
МГТУ МАМИ
(495) 223-05-23 доб. 1327

Аннотация. В статье излагаются результаты сопоставительного анализа методов расчета процессов резания. Рассмотрены известные решения и методы расчетов процесса стружкообразования, на их основе выполнены сравнительные расче-

ты силы резания. Отмечается, что наибольшими возможностями обладают решения на основе энергетического метода анализа с использованием экстремальных положений механики деформирования. Таким методом Л.Д. Оленин выполнил анализ наиболее общего случая резания, а именно «косого» резания инструментом с притупленной режущей кромкой, получены физические уравнения для расчета всех основных параметров процесса. Решение учитывает деформационное упрочнение материала, реальную величину контактного трения, а также затраты мощности на вязкое разрушение, связанное с образованием новых поверхностей. Подчеркивается, что все уравнения физические. Это позволяет рекомендовать их в качестве основы для разработки методик расчета процессов резания инструментом с любой формой лезвия и геометрией режущей части.

Ключевые слова: сопоставительный анализ, деформационное упрочнение, вязкое разрушение, ударная вязкость, план скоростей, косоугольное резание, Кулоновское трение, стружкообразование, аналитические методы анализа, пластическая деформация, скорость схода стружки, нормальные и тангенциальные компоненты деформации, скорость деформации.

Основные обозначения, принятые в работе

- a и a_1 – инструментальная и фактическая толщины срезаемого слоя;
 t и S – подача на проход и глубина резания;
 f_i – сечение срезаемого слоя;
 l – длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента;
 l_i – длина проекции активного участка режущей кромки на основную плоскость;
 l_3 – длина контакта по задней поверхности резца;
 h_i – ширина площадки износа по задней поверхности, включающая скругление;
 v и v_1 – скорость резания и скорость схода стружки;
 v_n и v_τ – нормальная и тангенциальная составляющие скорости смещения материала заготовки (перед плоскостью сдвига);
 $v_{\tau 1}$ – тангенциальная составляющая скорости после плоскости сдвига;
 γ – передний угол;
 γ_2 – угол между основной плоскостью и касательной к поверхности инструмента в зоне выглаживания;
 α – главный задний угол;
 λ – угол наклона главной режущей кромки;
 ε – угол резания;
 φ и φ_1 – главный и вспомогательный углы в плане;
 β_1 и β_2 – углы сдвига в зоне стружкообразования и на входе в зону выглаживания;
 ψ_1 – угол между конечной границей пластической зоны и плоскостью резания;
 w – угол между равнодействующей силой и плоскостью резания;
 μ и ρ – коэффициент трения и угол трения;
 r_i – радиус кривизны скругленной режущей кромки;
 σ – истинный предел текучести обрабатываемого материала;
 τ_s – сопротивление скалыванию обрабатываемого материала;
 σ_0 – условный предел текучести;
 σ_n – нормальное напряжение;
 B – константа, характеризующая склонность материала к упрочнению;
 a_n – ударная вязкость обрабатываемого материала, кг/мм;
 A – константа обрабатываемого материала, характеризующая сопротивление материала пластическому сдвигу при $\varepsilon=1$;

n и m – константы, характеризующие упрочнение материала пластической деформации;
 κ - коэффициент, учитывающий характер напряженного состояния в пластической зоне;
 ξ - усадка стружки;
 ζ_1 и ζ_2 – скорость схода стружки и скорость смещения материала относительно инструмента в зоне выглаживания (в долях от скорости резания);
 Γ_1 - деформация относительного сдвига на конечной границе пластической зоны;
 $\bar{\gamma}_n$ - деформация относительного сдвига в плоскости резания;
 $\Delta \bar{\epsilon}_i$ – приращение итоговой деформации при стружкообразовании;
 $F(\psi_1)$ - некоторая функция угла ψ_1 и константы n ;
 Θ – коэффициент, учитывающий поднятие материала перед стружкой;
 β - коэффициент Лоде;
 P_Z - составляющая силы резания;
 \bar{A}_ϵ и $\dot{\Delta A}_\epsilon$ - работа и мощность пластической деформации;
 $\dot{\Delta A}_p$ - мощность вязкого разрушения, связанная с образованием новых поверхностей;
 $\dot{\Delta A}_1^\mu$ и $\dot{\Delta A}_3^\mu$ - мощности сил трения на передней и задней поверхностях;
 \dot{W} - скорость съема материала при снятии стружки;
 T_1 – сила трения на передней поверхности;
 q_{z1} – доля давления резания, подводимая через переднюю поверхность инструмента;
 J – коэффициент полноты съема стружки;
 Δq_{rz} – доля давления резания, расходуемая на выглаживание приповерхностного слоя скругленной режущей кромкой;
 Δq_{h3}^μ – давление, расходуемое на преодоления трения на плоском участке площадки износа задней поверхности;
 q_z - полное давление резания скругленной режущей кромкой;
 q_r - гидростатическое давление;
 θ – угол охвата.

В практике проектирования процессов резания традиционно используют эмпирические методы. Такой подход достаточно универсален, однако число факторов (множителей) в эмпирических зависимостях ограничено. Увеличение числа этих факторов сопряжено с лавинообразным увеличением числа необходимых независимых опытов. Поэтому не прекращаются попытки создания универсальных моделей, в том числе, на основе достижений вычислительной математике, например метода конечных элементов. Однако, несмотря на использование чрезвычайно серьезных вычислительных ресурсов, не удается разработать методику, обладающую достаточным быстродействием. Положение усугубляется тем, что в основе методов лежат несовершенные физические и реологические модели поведения материала при деформировании. В частности, отсутствуют адекватные модели разрушения и контактного трения при пластическом деформировании. Без создания таких моделей сложно рассчитывать на успех. В этой связи актуальность разработки аналитических методов исследования процессов резания сохраняется.

Первая попытка аналитического определения силы резания предпринята в 1870 г. И.А.Тиме, предложившим по существу схему стружкообразования с единой плоскостью сдвига, а весь процесс резания он свел к этому акту [16]. В основе его подхода лежит допущение о том, что вся работа, подводимая в зону резания, расходуется на пластическую деформацию в плоскости сдвига, называемую им «скалыванием» (таблица 1, №1).

К.А.Зворыкин [6], используя схему с единой плоскостью сдвига, предложил модель, которая учитывает не только касательные силы, действующие в плоскости сдвига, но и нормальные силы, а также силы трения на передней поверхности (рисунок 1). При этом касательные напряжения в плоскости сдвига принимаются предельными, зависящими только от механических свойств обрабатываемого материала (таблица 1, № 2).

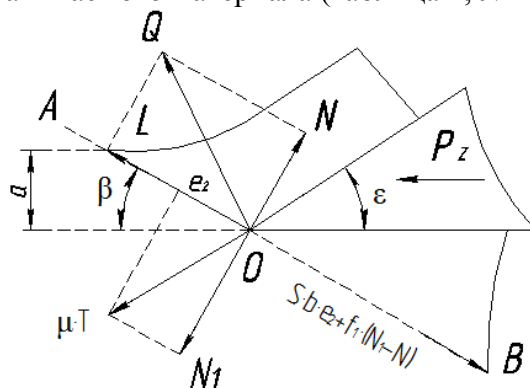


Рисунок 1 – Схема резания по К.А.Зворыкину

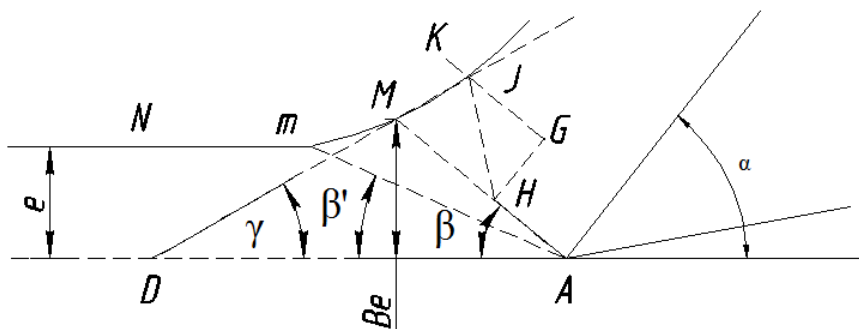


Рисунок 2 – Схема резания по А.Бриксу

Используется энергетический метод анализа, а угол сдвига определяется из условия минимума мощности или силы резания. Методика Зворыкина дает заниженные величины силы резания [8]. Это, главным образом, обусловлено тем, что не учитываются затраты мощности на вязкое разрушение, связанное с образованием новых поверхностей при стружкообразовании. Эти потери автору не удастся компенсировать необоснованным завышением контактного трения и другими приемами.

А.Брикс [1] использует подобную схему, но не с плоскостью, а с клиновой веерообразной зоной сдвига (рисунок 2). По Бриксу, наличие клиновой зоны связано с дополнительной деформацией и поднятием материала перед стружкой. По мнению Брикса, такая модель более совершенна. Тем не менее она также дает заниженные значения силы резания [8], так как не учитывает затрат мощности на образование новых поверхностей (таблица 1, № 3).

Наличие клиновой зоны деформации при стружкообразовании подтвердилось экспериментальными исследованиями Н.Н.Зорева [7], Г.Л.Куфарева [10], В.А.Кривоухова [9], Палмера и Оксли [21], М.Шав и Cook [23]. Они считали, что пластическая зона при стружкообразовании имеет форму клина, а сдвиг происходит по кривым линиям скольжения, ограничивающим по существу очаг деформации (рисунок 3).

Тем не менее Н.Н.Зорев [7] в своих расчетах использует поликлиновую схему с веером прямых линий вместо линий скольжения. На основе такой схемы Н.Н.Зорев получает систему уравнений для деформаций, усадки стружки и силы резания. (таблица 1, № 4). При этом он учитывает деформационное упрочнение материала и использует по существу единую кривую упрочнения, принимая, что при равенстве деформаций касательные напряжения при резании и сжатии равны. Используется степенная аппроксимация кривой упрочнения.

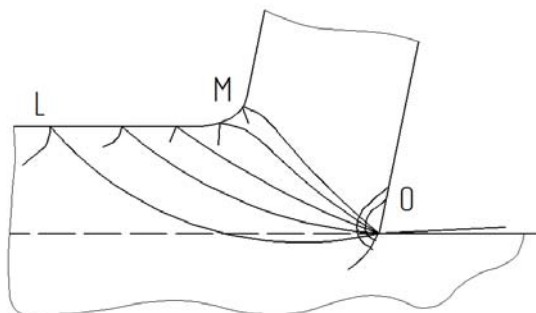


Рисунок 3 – Схематическое изображение зоны стружкообразования

Деформационное упрочнение материала также учитывает А.М.Розенберг [14], но для расчетов он использует схему с единой плоскостью сдвига. Вывод уравнения для силы резания выполнен им при допущении, что удельная работа пластической деформации не зависит от характера кривой упрочнения, с чем нельзя согласиться. Так как удельная работа пластической деформации упрочняемого материала равна интегралу по деформации или площади эпюры кривой упрочнения (таблица 1, № 5).

Ряд авторов [15], [4], [20] учитывает влияние температуры резания на компоненты напряжения в зоне стружкообразования, а также на передней поверхности инструмента. Используя схему с единой плоскостью сдвига, авторы предложили сложные численные алгоритмы, однако при этом работа вязкого разрушения ими также не учитывается (таблица 1, № 6).

В работах В.С.Кушнера [2] используется более сложная реологическая модель материала, которая учитывает одновременное влияние деформационного упрочнения и температуры. С использованием численных методов анализа выполнены расчеты параметров резания инструментом со стабилизирующей фаской (рисунок 4). При этом принято, что контакт инструмента со стружкой ограничен участком стабилизирующей фаски. Затраты мощности на вязкое разрушение, связанное с образованием новых поверхностей, автором не учитываются (таблица 1, № 7).

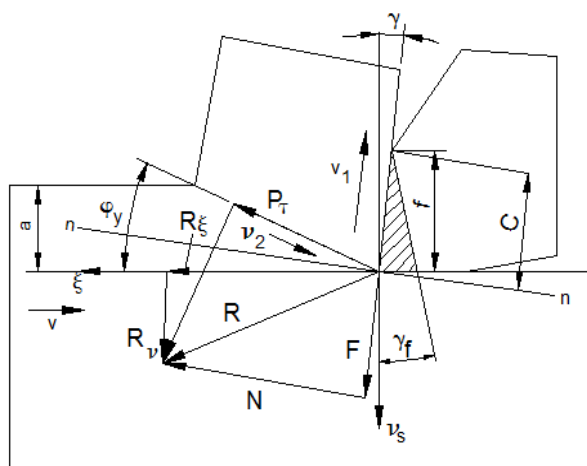


Рисунок 4 – Схема резания по В.С.Кушнеру

В работах Ли и Шаффера [19] пластическая зона расположена в стружке выше плоскости сдвига, то есть плоскость сдвига считается нижней границей этой зоны (рисунок 5). Решение выполнено в напряжениях с использованием теории кругов Мора. В частности, авторы вычисляют угол сдвига, который определяют нижнюю границу этой зоны.

А.Л.Воронцов [3] тоже решает задачу в напряжениях. Однако он считает, что все события происходят в прямоугольной зоне перед инструментом, нижняя граница которой является продолжением плоскости резания (рисунок 6). При этом в работе также не учитываются

затраты мощности вязкого разрушения, связанного с образованием новых поверхностей. Возможно, поэтому методика дает заниженные значения силы резания. С целью компенсации автор искусственно завышает коэффициент контактного трения, принимая его практически равным предельной величине (таблица 1, № 8).

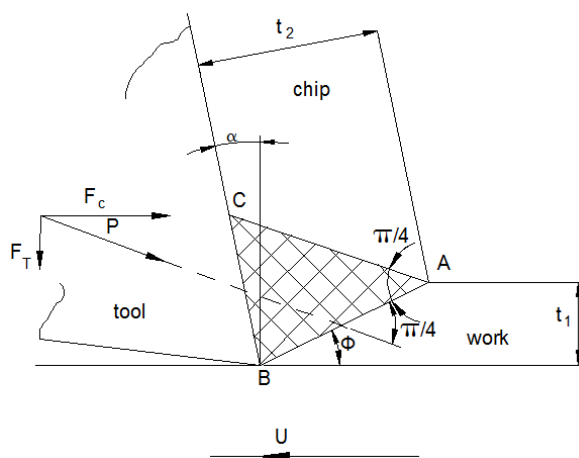


Рисунок 5 – Схема резания по Ли и Шаффер

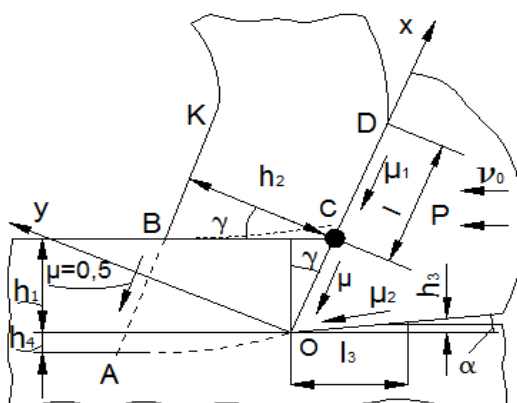


Рисунок 6 – Схема резания по А.Л.Воронцову

Энергетический метод анализа используется в работе В.Астахова [17]. В своей работе автор аппроксимирует кривую растяжения степенной функцией. Тем не менее, необходимую экспериментальную информацию он берет из кривой растяжения. Таким образом, используется только самое начало кривой упрочнения. В действительности деформации при стружкообразовании достигают значительно больших значений, чем те, которые содержит кривая растяжения.

Усадка стружки определяется в работе экспериментально, что снижает ценность работы, кроме того, не учитывается работа вязкого разрушения. Вместо этого автор оценивает затраты энергии на вязкого разрушение в плоскости сдвига. Использование такой модели оправдано при анализе резания малопластичных материалов, когда образуется стружка скалывания. Однако при этом дважды учитывается работа пластической деформации при стружкообразовании (таблица 1, № 9).

В работах Л.Д.Оленина [11], [12], [13] энергетическим методом выполнен анализ наиболее общего случае резания – «косого» резания инструментом со скругленной режущей кромкой. Подчеркивается, что в случае резания с наклоном главной режущей кромки схема деформаций не является плоской [12]; линейные деформации отсутствуют, но деформация сдвига реализуется не в одной, а в двух плоскостях- в плоскости резания P_n и в плоскости

зу. При этом итоговая деформация и её компоненты равны:

$$\bar{\gamma}_{ze} = \frac{1}{\cos \gamma_k} \left(\zeta_1 + \frac{1}{\zeta_1} - 2 \sin \gamma \right) \quad (1)$$

$$\bar{\gamma}_n = \operatorname{tg} \lambda = \frac{e}{\rho} \quad (2)$$

$$\Delta \bar{\varepsilon}_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\bar{\gamma}_{zx}^2 + \bar{\gamma}_n^2} \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{v_1}{v}, \quad (4)$$

где: ζ_1 – относительная скорость схода стружки (в долях от скорости резания); $\Delta \bar{\varepsilon}_i$ – приращение итоговой деформации при стружкообразовании; $\bar{\gamma}_{zy}$ – деформация относительного сдвига в плоскости ZY; $\bar{\gamma}_n$ – деформация относительного сдвига в плоскости резания; λ_k – угол наклона главной режущей кромки.

Процесс резания рассматривается как совокупность двух непрерывных актов – стружкообразования и пластического деформирования приповерхностного слоя. Обрабатываемый материал считается жесткопластичным, подверженным деформационному упрочнению, что соответствует условиям полной холодной деформации. Считается, что контактное трение не достигает предельной величины и принимается прямо пропорционально давлению на контакте.

Энергетическим методом получены физические уравнения для расчета всех основных параметров процессов прямого и «косого» резания как остро заточенным инструментом, так и инструментом с притупленной режущей кромкой. Анализ выполнен на основе единой схемы стружкообразования и выглаживания. Получены уравнения, описывающие поле скоростей в плоскости ZY, в плоскости резания, а также интенсивность деформации при стружкообразовании.

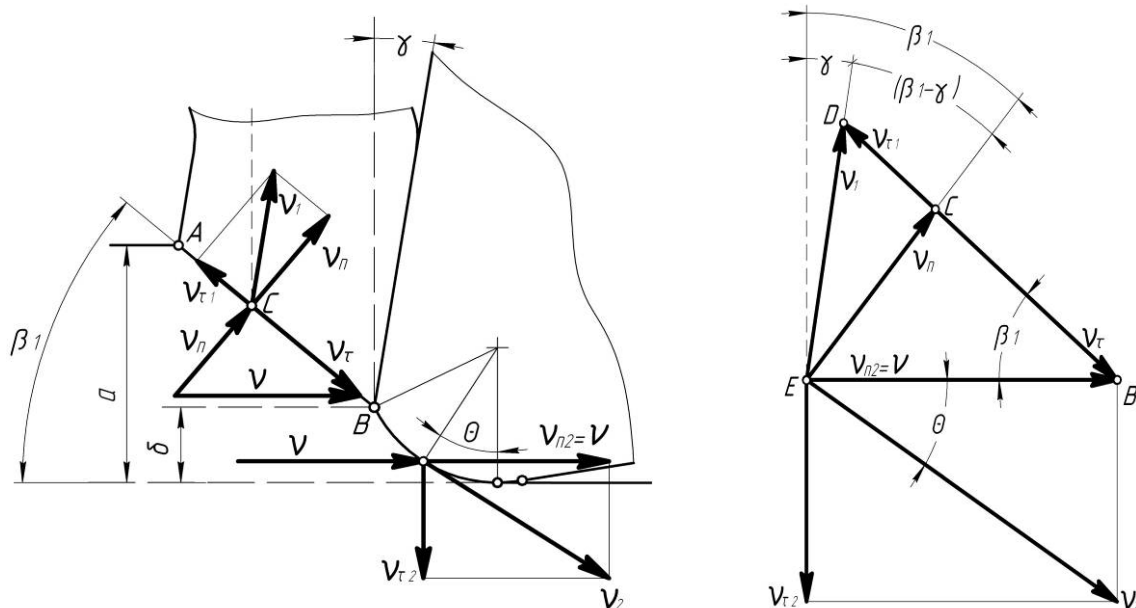


Рисунок 7 – Схема резания инструментом со скругленной режущей кромкой и поле скоростей в плоскости ZY по Л.Д.Оленину [13]

Ниже приводятся уравнение для доли давления, подводимого через переднюю поверхность, а также для приращения обобщенной деформации в случае «косого» резания:

$$\Delta q_{z1} = \frac{(1 + B \frac{\Delta \varepsilon}{2}) \Delta \varepsilon + \frac{a_n \sum b_i (1 + \zeta)}{2 \sigma \cdot S \sin \varphi}}{1 - C_{\mu} \zeta} \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{1}{\sqrt{3} \cos \gamma} \sqrt{(\zeta + \frac{1}{\zeta} - 2 \sin \gamma)^2 + \lambda^2 \cos^2 \gamma} \quad (6)$$

$$C_{\mu} = \frac{\sin \mu}{\cos(\gamma - \mu)}, \quad (7)$$

где: q_{z1} – доля давления резания, подводимая через переднюю поверхность инструмента.

Соответственно полное давление резания скругленной режущей кромкой, по Л.Д.Оленину, равно [13]:

$$q_z = \frac{\Delta q_{\varepsilon} \cdot J + \Delta q_p}{1 - C_{\rho} \zeta_1} + \Delta q_{\mu} + \Delta q_{h3}^{\mu}, \quad (8)$$

где: J – коэффициент полноты съема стружки; Δq_{rz} – доля давления резания, расходуемая на выглаживание приповерхностного слоя скругленной режущей кромкой; Δq_{h3}^{μ} – давление, расходуемое на преодоления трения на плоском участке площадки износа задней поверхности.

В зоне выглаживания давление на контакте с инструментом оценивалось методом линий скольжения на основании выполненного автором решения задачи о вдавливании цилиндрического пуансона боковой поверхностью в полупространство [11] при допущении, что трение на контакте подчиняется закону Кулона. В результате получено:

$$q_y = \frac{1 + \frac{\pi}{2} + \theta}{1 - 1.36 \mu}, \quad (9)$$

$$\sigma_n = \sigma \cdot q_r, \quad (10)$$

где: q_r – гидростатическое давление; σ – истинный предел текучести обрабатываемого материала; σ_n – нормальное напряжение.

Доля давления резания, связанная с выглаживанием, определялась как интеграл по углу θ :

$$\Delta q_{zy} = \frac{\sum l_i Y_i}{f \Phi} \int_0^{\theta} q_y \frac{\sin(\theta + \rho)}{\cos \rho} \theta \cdot d\theta, \quad (11)$$

где θ – угол охвата, смысл которого понятен из схемы на приведенном рисунке.

Угол охвата θ определяется из условия минимума полного давления резания, равного по Л.Д.Оленину (уравнение 8).

Существенно, что усадка стружки, а следовательно, угол сдвига, прогнозируются исходя их условия минимума мощности резания. При этом учитывается мощность пластической деформации и мощность вязкого разрушения, связанная с образованием новых поверхностей при стружкообразовании, трение на передней и задней поверхностях, а также деформационное упрочнение материала как в зоне стружкообразования, так и при выглаживании (таблица

№ п/п	Автор	Зависимости
1	Тиме И.А. [14]	$P_z = \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\beta_1) \cdot \sin(\beta)} \cdot b \cdot a \cdot \tau_s$
2	Зворыкин К.А. [5]	$P_z = \frac{\tau_s \cdot b \cdot a \cdot [\sin(\varepsilon) \cdot (1 - \mu^2) + 2 \cdot \mu \cdot \cos(\varepsilon)]}{\sin(\beta_1) \cdot [\sin(\varepsilon + \beta_1) \cdot (1 - \mu \cdot \mu_1) + (\mu + \mu_1) \cdot \cos(\varepsilon + \beta_1)]}$ $\beta_1 = 90 - \frac{\rho + \rho_1 + \varepsilon}{2}$
3	Брикс А. [1]	$P_z = \Theta \cdot \tau_s \cdot b \cdot a \cdot \frac{2 \cdot \sin(\varepsilon + \rho)}{\cos(\varepsilon + \rho) - \cos(\varepsilon + \rho + 2\beta_1)}$
4	Зорев Н.Н. [6]	$P_z = \frac{A \cdot b \cdot a \cdot \xi \cdot \varepsilon_1^m \cdot \sin(\psi_1) \cdot \cos(w)}{\cos(k \cdot \psi_1 + w) \cdot \sin(k \cdot \psi_1) \cdot \cos(\psi_1 - \gamma)}$ $F(\psi_1) = \frac{\int_0^{k \cdot \psi_1} [\cos(\psi^* + w) \cdot \sin(\psi^*)]^m \cdot d\psi}{[\cos(k \cdot \psi_1 + w) \cdot \sin(k \cdot \psi_1)]^m}$
5	Розенберг А.М., Еремин А.Н. [12]	$P_z = \frac{\sigma_0}{n} \cdot a \cdot b \cdot \frac{e^{\frac{n \cdot \xi^2 - 2 \cdot \xi \cdot \sin(\gamma) + 1}{1,5 \cdot \xi \cdot \cos(\gamma)}} - 1}{1 - \frac{\sin(\rho)}{\xi \cdot \cos(\rho - \gamma)}}$
6	Розенберг Ю.А. [13]	$\Delta P_z = \tau_p \cdot a \cdot \Delta b \cdot (\varepsilon + 1) + \Delta b \cdot c_\rho \cdot \kappa_\rho + \Delta b \cdot \mu_1 \cdot \sigma_T \cdot h_3$
7	Кушнер В.С. [2]	$P_z = K_\xi \cdot S_b \cdot S \cdot t + (\mu_1 \cdot \sigma_b \cdot h_3 + 0,7 \cdot S_b \cdot H_0) \cdot \left(\frac{t}{\sin(\varphi)} + K_s \cdot S \right)$ $K_\xi = \frac{\tau_y}{S_b} \cdot \frac{\xi + \frac{1}{\xi} - 2 \cdot \sin(\gamma)}{\cos(\gamma)} + \frac{q_F}{S_b} \cdot \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{\xi}$ $\Phi(\zeta_x) = \iiint_{W_c} dQ_r + \iiint_{W_k} dQ_q = \min$
8	Воронцов А.Л. и др. [3]	$P_z = P_{пл} + P_{сд} + P_{тр1} + P_{тр2}$
9	Астахов В. [15]	$P_c = F_c \cdot v = P_{pd} + P_{fR} + P_{fF} + P_{ch} + P_{mn-ce}$
10	Оленин Л.Д. [9], [10], [11]	$q_z = \Delta q_\varepsilon + \Delta q_p + \Delta q_1^\mu + \Delta q_3^\mu,$ $\Delta q_\varepsilon = \left(1 + B \frac{\Delta \varepsilon}{2} \right) \cdot \Delta \varepsilon, \quad \Delta q_p = \frac{a_n \cdot \sum b_i \cdot 1 + \zeta}{\sigma \cdot s \cdot t \cdot 2},$ $\Delta q_3^\mu = \frac{1 + \frac{\pi}{2}}{1 - 1,36 \cdot \mu} \cdot \mu \frac{\sum b_i \cdot h_i}{s \cdot t}, \quad q_z = \frac{\Delta q_\varepsilon + \Delta q_p}{1 - C_\rho \cdot \zeta} + \Delta q_3^\mu,$

Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

		где: $\Delta \varepsilon = \frac{1}{\sqrt{3} \cos \gamma} \cdot \sqrt{\left(\zeta + \frac{1}{\zeta} - 2 \sin \gamma\right)^2 + \lambda^2 \cos^2 \gamma}$ $C_\rho = \frac{\sin(\rho)}{\cos(\gamma - \rho)}$
--	--	--

Расчеты показывают, что в интервале значений главного переднего угла $\gamma = -15^\circ \dots +7^\circ$ (таблица 2, рисунок 8), вычисленные значения совпадают с экспериментальными, приведенными в работе [5].

Таблица 2.

γ , град	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10	15	20	25	30
q_z , МПа	4,574	4,153	3,808	3,519	3,275	3,065	2,882	2,722	2,663	2,58	2,454	2,34	2,24	2,149

Расчеты выполнялись при следующих условиях: сталь 15X, $s = 0,25$ мм/об; $t = 3,5$ мм, $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 6^\circ$, $h = 0,2$ мм, $h_1 = 0,2$ мм, $\sigma = 40$ кгс/мм², $B = 0,43$, $a_n = 5,5$ кгс/мм, $\lambda = 0$, $\mu = 0,12$.

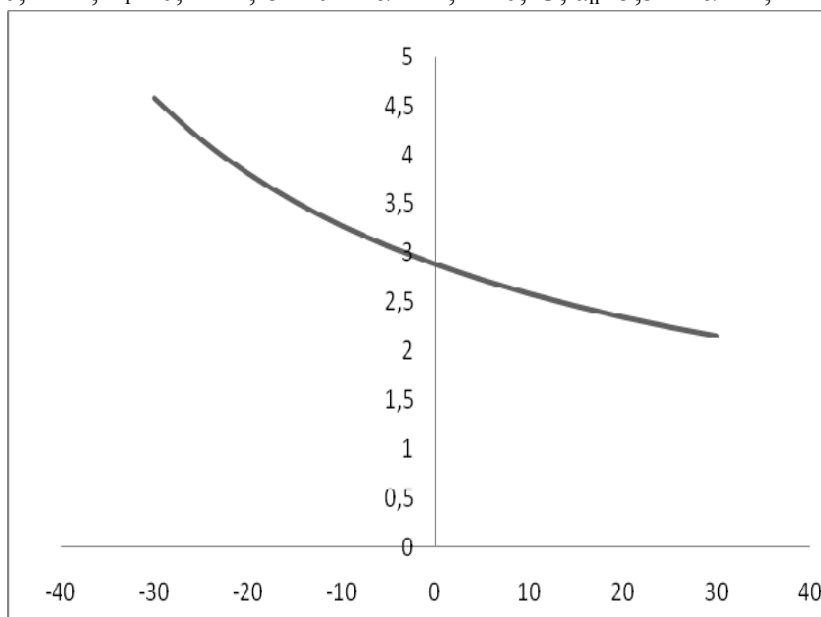


Рисунок 8 – Расчетная кривая изменения давления резания q_z с изменением от переднего угла γ по Л.Д.Оленину

Из изложенного следует, что энергетический метод с использованием экстремальных положений механики деформирования [11], [12], [13] позволяет получить физические уравнения для расчета всех силовых параметров резания инструментом с любой формой лезвия и геометрией режущей части, что является существенным преимуществом данной методики. Это позволяет использовать методику в качестве основы для расчета силовых параметров режимов резания. Однако, для практического использования этого метода требуется дополнительная информация о физико-механических свойствах материалов, обрабатываемых резанием, обладающих деформационным упрочнением. В этой связи представляется актуальным, в частности, проведение экспериментальных исследований по определению сопротивления пластическому течению упрочняемого материала и ударной вязкости при высоких значениях накопленной деформации.

Литература

1. Брикс А. Резание металлов. (Строгание), 1896
2. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для тех. вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.: ил.
3. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Вестник машиностроения. 2008. № 1-12.

4. Внуков Ю.Н., Саржинская А.Г. Методика теоретического определения составляющих силы резания при токарной обработке. 2008
5. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: «Высшая школа», 1985. – 304 с.
6. Зворыкин К.А. Работа и усилие, необходимые для отделения металлической стружки. – М.: Русская типо-литография, 1893г. – 76 с.
7. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. - 363 с.
8. Клушин М.И. Исследования процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1949. -165 с.
9. Кривоухов В.А. Деформирование поверхностных слоев металла в процессе резания. М.:Машгиз, 1945.
- 10.Куфарев Г.Л. Экспериментальное изучение пластической деформации при резании материалов. Известия вузов СССР. Машиностроение. 1959. № 7.
- 11.Оленин Л.Д. О контактных напряжениях при внедрении плоского и скругленного пуансонов в полупространство. Материалы Международного научного симпозиума. М.: МГТУ МАМИ 2005. с.
- 12.Оленин Л.Д.. К анализу механики резания упрочняемого материала. Стружкообразование. Известия МГТУ «МАМИ» №1 2008. с. 183..190.
- 13.Оленин Л.Д.. К анализу механики резания. Резание инструментом с притупленной режущей кромкой. Известия МГТУ «МАМИ» № 2009. с. 1.1.
- 14.Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. – М. – Свердловск.: Машгиз, 1956. – 319 с.
- 15.Розенберг Ю.А., Тахман С.И. Силы резания и методы и определения : Учебное пособие: В 2 ч. – Курган : Изд-во КМИ, 1995. – 130 с. и 103 с.
- 16.Тиме И.А. Сопротивление металлов и дерева резанию. – С.-Петербург, 1870.
- 17.Astakhov V.P., Shvets S. The assessment of plastic deformation in metal cutting. Journal of Materials Processing Technology. 146 (2004). 193-202
- 18.Cook N.H., Shaw M.C. Visual Metal Cutting Study, Mechanical Engineering, №11, vol.73, 1951
- 19.Lee E.H., Shaffer B.W. The theory of plasticity applied to a problem of machining. Journal of Applied Mechanics, No. 4, vol. 18, 1951, S. 405-413
- 20.Oxley P.L.B. Mechanics of Machining, an analytical approach to assessing machinability. Chichester: Ellis Horwood, 1989, 242 p.
- 21.Palmer W.B., Oxley P.L.B. Mechanics of metal cutting. Proc. Inst. Mech. Eng. 173. 623-654.
22. Oxley P.L.B. Mechanics of Machining, an analytical approach to assessing machinability. Chichester: Ellis Horwood, 1989, 242 p.
- 23.Shaw M., Cook N., Finnie J. Transactions of the ASME. vol.75, pp 273-288, 1963.

Контроль качества на основе использования квалиметрических образов технических изделий

к.т.н. доц. Мартишкин В.В., Прилепина Н.Н., Фазлулина М.Э.
МГТУ «МАМИ»

Аннотация. Рассматривается контроль качества технических изделий (ТИ) с использованием метода построения квалиметрических образов этих ТИ. Предложенный метод является новым в области контроля качества ТИ. Квалиметрический образ – это геометрическая модель, построенная с помощью различных методов свертки показателей качества. Целью контроля качества ТИ с помощью квалиметрических образов является выявление недостатков оцениваемого ТИ и улучшение его конструкции. По сравнению с традиционными методами контроля качества предложенный метод прост и не требует больших затрат времени.