

2. Применение специальной конструкции интерферометра с использованием державки с оптическим клином в экспериментальной установке для исследования динамики нагружения и НДС режущей части инструмента позволило устранить отрицательное воздействие вибраций – главный недостаток интерферометрических методов измерений.

3. При реализации разработанного интерферометрического метода исследования НДС экспериментально получены поля сумм главных напряжений в режущей части инструмента, выполненной из твердого сплава ВК8, при обработке стали 1Х12Н2ВМФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. - 248 с.: ил.
2. Фрохт М.М. Фотоупругость. - М.: Гостехиздат, 1948. - Т.1-2.
3. А.с. СССР № 1173179, МКИ4 G 01 B 11/16. Способ исследования деформации материалов в процессе снятия стружки резанием / Е.В. Артамонов, Ю.И. Некрасов, И.А. Ефимович. - № 3588086/25-08; Заявл. 08.02.83; Оpubл. 15.08.85, Бюл.№ 30.
4. Патент РФ № 2086914, МПК5 G 01 B 11/16. Способ исследования деформации режущего инструмента в процессе эксплуатации / И.А. Ефимович, Е.В. Артамонов. - № 4790242/28; Заявл.08.02.90; Оpubл. 10.08.97, Бюл.№ 22.
5. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Наук. думка, 1988. - 736 с.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ. - М.: Наука, 1975. - 576 с.

Тюменский государственный нефтегазовый университет

УДК 621.9.015

О.Н. ФЕДОНИН, Д.В. ЛЕВЫЙ

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ЗАГОТОВКИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Рассмотрены вопросы изменения механических свойств материала заготовки в зоне резания, стружкообразование, приведены экспериментальные данные по этим вопросам. Предложен путь получения аналитических зависимостей описания формирования качества поверхностного слоя.

При изготовлении машин одной из основных задач, стоящих перед изготовителями, является обеспечение требуемых эксплуатационных свойств узлов и деталей [1,2]. Обеспечить требуемое сочетание эксплуатационных свойств деталей или требуемое сочетание параметров качества их поверхностных слоев можно путем использования эмпирических зависимостей, полученных методами планирования эксперимента или путем использования теоретических (аналитических) зависимостей, полученных описанием физической картины процесса резания.

Наиболее предпочтительными являются теоретические модели, описывающие физическую картину резания. Для аналитического описания процесса формирования качества поверхностного слоя деталей необходимо выявить основные причины, определяющие те или иные характеристики качества поверхностного слоя и описать их воздействие математически, с учетом основных физико-механических свойств материалов данных деталей. В

зоне резания одновременно протекают процессы деформации материала, приводящие к увеличению плотности дислокации и упрочнению, и тепловые процессы, приводящие к снижению плотности дислокаций, а, следовательно, к разупрочнению; кроме этого деформация материала происходит в стесненных условиях.

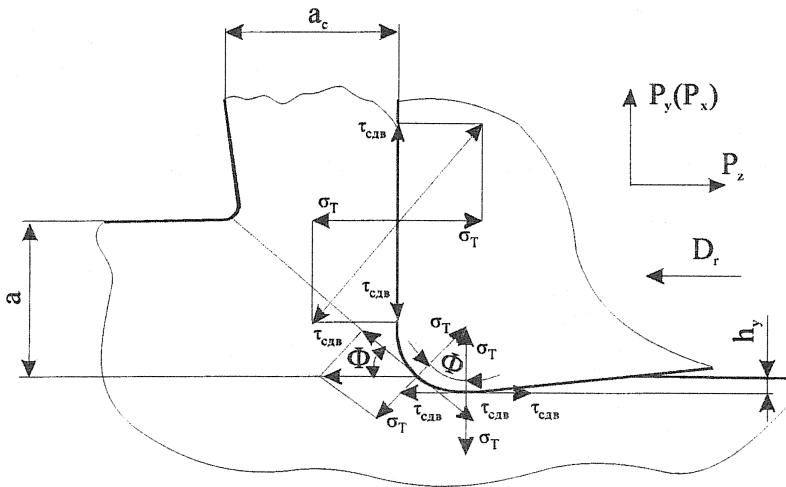


Рис. 1. Схема стружкообразования

Все это приводит к изменению механических свойств материала заготовки (σ_T и $\tau_{сдв}$), зависящих от температуры, скорости и условий деформации. Кроме этого изменение механических свойств материала в зоне резания связано со всеми характеристиками процесса резания. Оценить величину σ_T и $\tau_{сдв}$ можно через силовые показатели процесса резания.

В процессе резания для разрушения материала срезаемого слоя необходимо приложить к лезвию инстру-

мента некоторую силу P . Данная сила является интегральной величиной, так как характеризует сразу несколько процессов [3,4,5]:

- пластическую деформацию материала срезаемого слоя (той части, которая формируется в стружку);
- пластическую деформацию материала, подминаемого слоя режущей кромкой;
- последовательный сдвиг элементов срезаемого слоя по плоскости сдвига;
- трение стружки о переднюю поверхность лезвия инструмента;
- трение задней поверхности инструмента об обработанную поверхность детали.

Оценить теоретически вклад каждого из перечисленных процессов в величину силы резания P очень сложно, так как значения механических характеристик материала заготовки σ_T и $\tau_{сдв}$, коэффициента трения μ , условного угла сдвига Φ , коэффициента усадки стружки K_a , зависят от конкретных условий обработки [7]. Для их определения была получена математическая модель (1)-(5) процесса резания связывающая все вышеперечисленные параметры процесса резания с силовыми характеристиками процесса резания и описывающая физическую картину исследуемого процесса (рис.1).

$$P_z = \left[\left(\frac{t - r_b \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} + r_b \cdot \left(\varphi + \arcsin \frac{S_0}{2r_b} \right) \right) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot \sigma_T \cdot (\mu \sin \Phi - (\cos \Phi - 1)) + \right. \\ \left. + \left(a \cdot \frac{t - r_b \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} + 0,2r_b^2 \right) \cdot \frac{\sigma_T}{\sin^2 \Phi} \cdot (\cos \gamma + \mu \sin \gamma) \right] \cdot \cos \lambda ; \quad (1)$$

$$P_y = \left[\left(\frac{t - r_b \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \cdot \cos \varphi + 0,7r_b \cdot \left(\varphi + \arcsin \frac{S_0}{2r_b} \right) \right) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot \sigma_T \cdot (\sin \Phi - \mu(\cos \Phi - 1)) + \right.$$

$$+ \left(a \cdot \frac{t - r_b \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \cdot \cos \varphi + 0,2r_b^2 \right) \cdot \frac{\sigma_T}{\sin^2 \Phi} \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \Big] \cdot (1 + \sin \lambda); \quad (2)$$

$$P_x = \left[\left(\frac{t - r_b \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \cdot \sin \varphi + 0,7r_b \cdot \left(\varphi + \arcsin \frac{S_0}{2r_b} \right) \right) \cdot \rho \cdot \Phi \cdot \sigma_T \cdot (\sin \Phi - \mu(\cos \Phi - 1)) + \right. \\ \left. + \left(a \cdot \frac{t - r_b \cdot (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} \cdot \sin \varphi + 0,2r_b^2 \right) \cdot \frac{\sigma_T}{\sin^2 \Phi} \cdot (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) \right] \cdot (1 - \sin \lambda); \quad (3)$$

$$K_a = \frac{\sin(90 + \gamma - \Phi)}{\sin \Phi}; \quad (4)$$

$$\tau_{сдв} = \frac{\sigma_T}{\operatorname{tg} \Phi}, \quad (5)$$

где t – глубина резания;

r_b – радиус вершины лезвия;

φ – главный угол в плане;

S_0 – подача на оборот;

ρ – радиус скругления режущей кромки;

μ – коэффициент трения;

σ_T – предел текучести материала заготовки;

$\tau_{сдв}$ – напряжение сдвига материала заготовки;

λ – угол наклона главной режущей кромки;

P_z – тангенциальная составляющая силы резания;

P_y – радиальная составляющая силы резания;

P_x – осевая составляющая силы резания;

a – толщина среза;

γ – передний угол;

Φ – угол сдвига;

K_a – коэффициент утолщения стружки.

Для проверки полученной модели были проведены экспериментальные исследования по измерению силовых характеристик процесса точения и коэффициента усадки стружки. Исследования силовых характеристик процесса лезвийного резания производились с использованием автоматизированного расчетно-измерительного комплекса разработанного и изготовленного на кафедре «Автоматизированные технологические системы» БГТУ [6]. В состав данного комплекса входят: динамометрическая головка универсального динамометра УДМ-1200 конструкции ВНИИ, прецизионный 4-х канальный усилитель постоянного тока с регулируемым коэффициентом усиления по каждому каналу и ПЭВМ (IBM PC) с соответствующим программным обеспечением. Комплекс позволяет производить текущие измерения составляющих силы резания в режиме реального времени, записывать и хранить полученную информацию в виде графического или текстового файла.

Исследования процесса точения проводились для условий свободного и несвободного резания на образцах из стали 40Х, проходным упорным резцом Т15К6, $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 30^\circ$; $\gamma = 0$; $\alpha = 3^\circ$; $\lambda = 0$. Экспериментальные исследования σ_T , $\tau_{сдв}$ показывают, что для условий

свободного резания $\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot (0,1 \div 0,35)$, $\tau_{сдв} = \tau_{сдв0} \cdot (0,55 \div 1,4)$, а для условий несвободного резания $\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot (0,15 \div 1,16)$, $\tau_{сдв} = \tau_{сдв0} \cdot (0,77 \div 6,2)$.

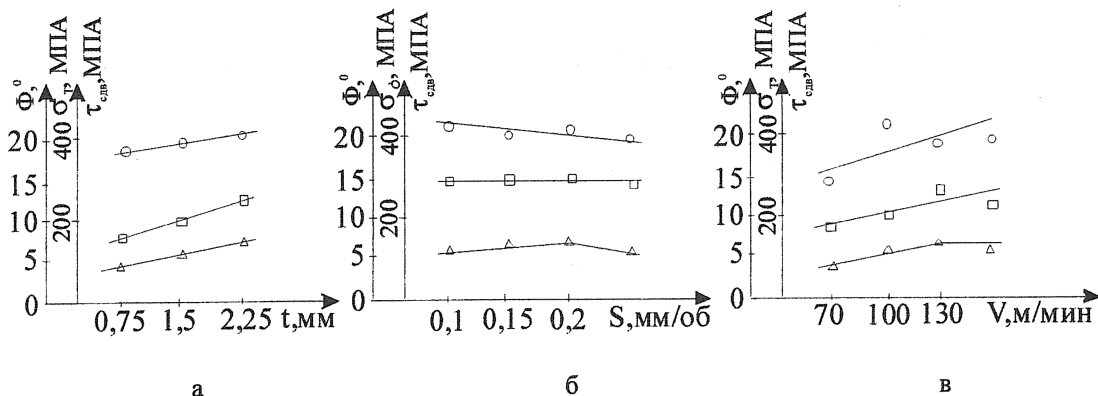


Рис. 2. Зависимости для свободного резания: а - влияние глубины; б - влияние подачи; в - влияние скорости

Уменьшение σ_T по сравнению с σ_{T0} -исходного материала можно объяснить преимущественным влиянием теплового фактора, приводящего к разупрочнению. Увеличение $\tau_{сдв}$ материала срезаемого слоя по сравнению с $\tau_{сдв0}$ -исходного материала можно объяснить тем, что наличие опережающей зоны деформации приводит к интенсивному росту плотности дислокаций вблизи зоны сдвига, а, следовательно, и к упрочнению материала.

Существенное увеличение $\tau_{сдв}$ при несвободном резании по отношению к свободному объясняется тем, что в условиях несвободного резания слои материала от главной режущей кромки, радиусной вершинной части лезвия и вспомогательной режущей кромки нажимаются друг на друга при их движении по соответствующим плоскостям сдвига, то есть происходит «самозаклинивание» слоев материала корневой зоны стружки.

Зависимости Φ , σ_T , $\tau_{сдв}$ от условий обработки представлены на рис. 2 для свободного резания и на рис. 3 для несвободного резания. Из приведенных графиков видно, что в условиях несвободного и свободного резания проявляются единые закономерности.

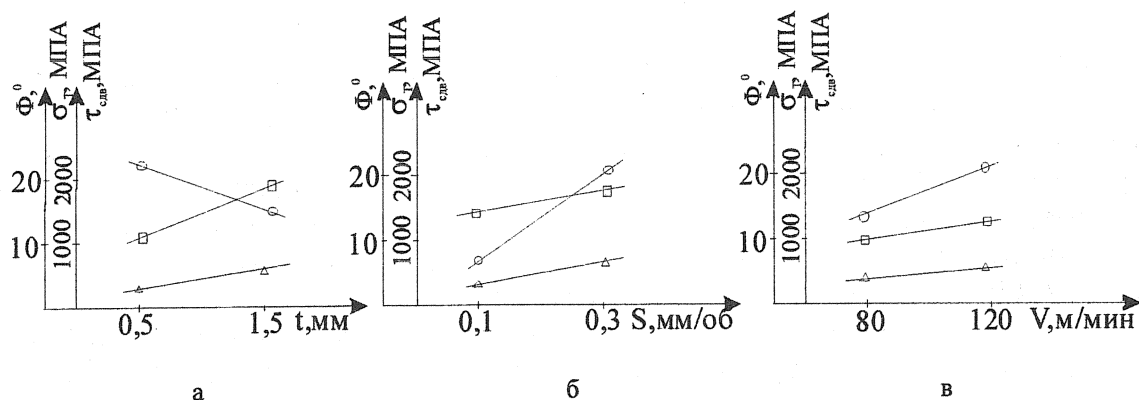
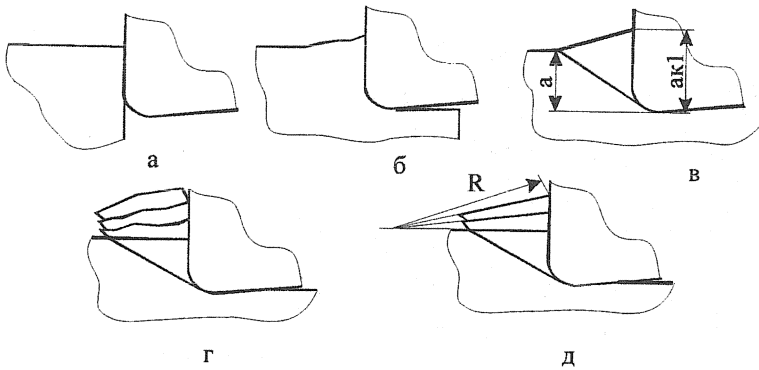


Рис. 3. Зависимости для несвободного резания: а - влияние глубины; б - влияние подачи; в - влияние скорости

Фактические значения σ_T и $\tau_{сдв}$ определяют радиус загиба стружки. Образующаяся стружка может иметь различный вид (сливная, суставчатая, стружка скалывания), но во всех случаях образование стружки происходит вследствие сдвига материала по плоскости сдвига. При этом можно допустить следующее:

- сдвиг материала происходит под углом Φ относительно направления главного движения;



- элементы стружки имеют форму трапеции с равными боковыми сторонами;
- сдвиг материала в стружку начинается в момент, когда усилия, действующие на некоторый объем металла со стороны инструмента, сравняются с усилиями необходимыми для его сдвига.

Рис.4. Этапы деформации материала зоны стружкообразования при образовании стружки

В процессе обработки инструмент в начальный момент касается заготовки (рис.4,а), затем происходит пластическая деформация (рис.4,б), вследствие

чего в k_1 раз увеличивается длина контакта материала срезаемого слоя нормально к режущей кромки, по сравнению с толщиной среза (рис.4,в).

Увеличение будет происходить до тех пор, пока усилия, действующие со стороны инструмента на объем материала, не сравняются с усилиями, необходимыми для сдвига этого объема в стружку. Затем произойдет сдвиг элемента стружки и данный процесс будет повторяться циклически (рис.4, г, д).

Условие сдвига исходя из схемы (рис.5)

$$\tau_{сдв} \cdot \cos \Phi \cdot \frac{a}{\sin \Phi} \cdot b = \sigma_T \cdot b \cdot a \cdot k_1, \quad (6)$$

где k_1 -коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается контакт по передней поверхности относительно толщины среза (a) до наступления события – сдвиг материала в стружку.

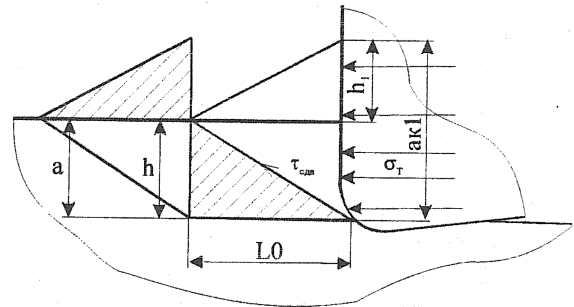


Рис.5. Схема условия сдвига

Решив уравнение (6) относительно k_1 и рассмотрев схему резания (рис5), окончательно получаем уравнение для расчета радиуса закругления стружки

$$R = \frac{a \cdot \frac{\sigma_T}{\tau_{сдв}}}{\left(1 - \left(\frac{\sigma_T}{\tau_{сдв}}\right)^2\right) \cdot \cos \left[\arctg \frac{a \cdot \left(\left(\frac{\tau_{сдв}}{\sigma_T}\right)^2 - 1\right)}{a \cdot \frac{\sigma_T}{\tau_{сдв}}} \right]}. \quad (7)$$

Сравнив экспериментальные значения со значениями, рассчитанными по формуле (7), был сделан вывод о правильности и возможности применения выведенной зависимости (рис.6).

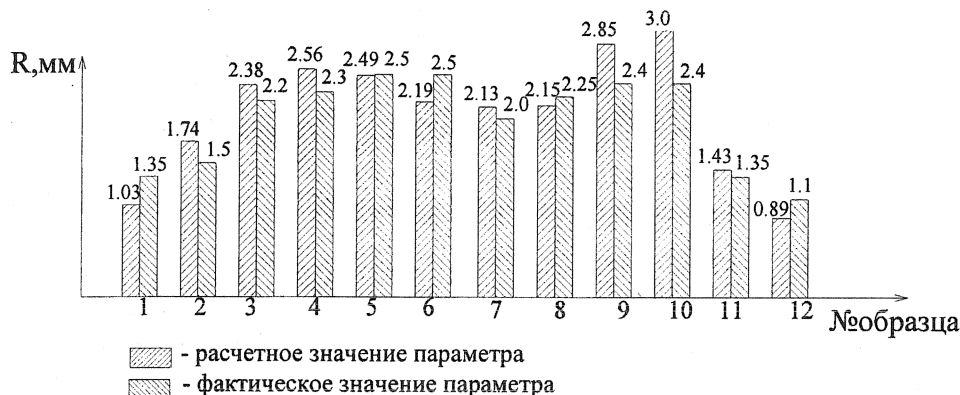


Рис.6. Анализ результатов по радиусу завивания стружки

Выводы

Вследствие силового и теплового воздействия инструмента на деталь, а также изменяющихся условий деформирования в зоне контакта существенно изменяются механические свойства материала детали σ_T и $\tau_{сдв}$.

Соотношение $\sigma_{тф}$ и $\tau_{сдвф}$ будет определять значение угла сдвига Φ , коэффициент усадки стружки, толщину подминаемого слоя, радиус завивания стружки, а также параметры качества поверхностного слоя.

Целесообразно разрабатывать аналитические модели формирования качества поверхностного слоя детали с учетом фактических значений механических характеристик материала детали и условий обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безъязычный В.Ф., Кожина Т.Д. и др. Оптимизация технологических условий механической обработки деталей авиационных двигателей. – М.: Изд-во МАИ, 1993. – 184 с.
2. Суслов А.Г., Суслов Д.А. Пластическое приращение профиля шероховатости обработанной поверхности/ Сб. тезисов докладов Российской научн.-техн. семинара «Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин». – М.: МГАТУ, 1995. – с. 27.
3. Федонин О.Н. Формирование качества поверхности деталей машин при их обработке \ Тез. докл. II Междунар. научн.-техн. конф. «Износостойкость машин». Ч.2. – Брянск: БГИТА, 1996. – с. 122.
4. Федонин О.Н. Технологическое обеспечение износостойкости деталей за счет изменения физико-механических свойств материала поверхностного слоя при механической обработке \ Трение и износ Т.18, №4, 1997. – с. 558–562.
5. Федонин О.Н. Оптимизация процесса лезвийной обработки/ Прогрессивные технологии в машиностроении: Межвуз. сб. научн. трудов/ Под ред. проф. В.М. Оробинского – РПК Политехник Волгоград, 1999, с. 121–125.
6. Федонин О.Н. Автоматизированная система научных исследований процессов механической обработки \ Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды конгресса в 2-х тт. Т.2 /IV Международный конгресс. – М.: Изд-во «Станкин», 2000. – с. 230–231.
7. Левый Д.В. Инженер: студенческий научно – технический журнал /Донецк, ДонГТУ, 2000г. №1, –58–60с.