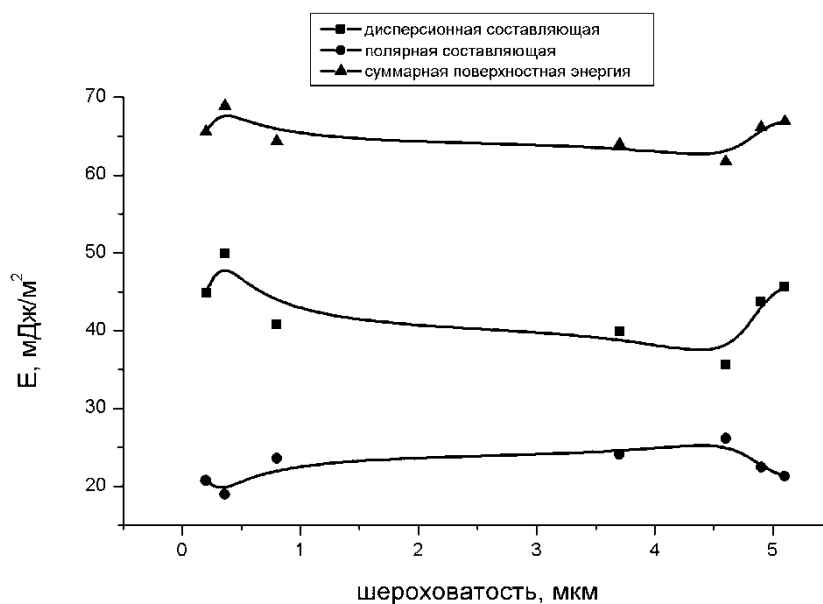


чивание поверхности и прочность адгезионного соединения можно не учитывать.



**Рисунок 2 – Значения поверхностной энергии стальных образцов в зависимости от шероховатости**

#### Литература

1. Зинина И.Н., Вартанов М.В. Влияние качества поверхности на прочность адгезионных соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. № 2, 2000 г.
2. Кинлок Э. Адгезия и адгезивы. Наука и технология. – М.: Мир, 1991. – 300 с.
3. Басин В.Е. Адгезионная прочность. – М.: Химия, 1981 – 208 с.
4. Белый В.А., Егоренков Н.И., Плескачевский Ю.М. Адгезия полимеров к металлам. – Минск: Наука и техника, 1971. – 288 с.
5. Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 191 с.
6. Хрулев В.М. Прочность клеевых соединений. – М.: Стройиздат, 1973. – 81с.
7. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.. Наука, 1973 – 279 с
8. Johnson R.E., Robert H.D. Histerecis of contact angle. / Advances in Chemistry Series 43. / Ed. R.F. Gould. – Washington: American Chemical Society, 1964. – p. 112-144
9. Адгезивы и адгезионные соединения. / Под ред. Л.-Х. Ли. – М.: Мир, 1988. – 200 с.

#### **Влияние неравномерности припуска обрабатываемых заготовок на выходные параметры технологического оборудования**

к.т.н. доц. Иванников С.Н., Шандов М.М.  
МГТУ «МАМИ»  
8(495)223-05-23, доб. 1327

*Аннотация.* Рассмотрено влияние неравномерности припуска обрабатываемых заготовок и связанного с этим колебания значений глубины резания и, следовательно, сил резания на упругие перемещения в технологической системе и выходные параметры точности оборудования при изготовлении деталей типа «тела вращения».

*Ключевые слова:* влияние неравномерности припуска, силы резания, упругие перемещения в технологической системе, параметры точности оборудования

Основной целью машиностроительного производства является выпуск продукции за-

данного количества и требуемого качества с минимальными затратами на ее изготовление. При этом современное машиностроение характеризуется широким применением принципа концентрации операций.

В настоящее время на машиностроительных заводах все чаще применяются гибкие производственные системы, которые позволяют повысить производительность труда в 8 – 10 раз [1]. В состав гибких систем входят, как правило, станки с ЧПУ, позволяющие обрабатывать весьма широкие по номенклатуре партии деталей. Однако, по данным [2], уровень режимов резания в гибких производственных системах искусственно занижают на 60–70% относительно нормативных. Это обусловлено тем, что отказы инструментов являются причиной более чем 50% нарушений работоспособности станков с ЧПУ [2]. Для обеспечения нормальной работы станков расчетные значения режимов резания и периода стойкости инструмента искусственно уменьшают, чтобы гарантировать заданную наработку на отказ инструмента и технологической системы, что приводит к увеличению расхода инструмента и повышению себестоимости изготовления деталей.

Основной причиной отклонений режимов обработки от реальных является неравномерность припуска обрабатываемых заготовок. При этом, как показали исследования [2], из-за колебаний припуска существенно затрудняется достижение заданного качества изготавливаемых деталей.

Указанные колебания припуска заготовок, особенно исходных заготовок, влияют на значение реальной силы резания, которая может быть использована в качестве контролируемого параметра в системах адаптивного управления станками с ЧПУ. Такие системы позволяют поддерживать в процессе обработки значения режимов резания, близкие к расчетным, что приводит к более полному использованию ресурса инструмента и предотвращает его увеличенный расход вследствие поломок или искусственного занижения режимов резания.

Неравномерное распределение припуска на формируемых поверхностях заготовок связано с влиянием множества факторов (коробление, неоднородность структуры материала, внутренние напряжения и т.п.). Неравномерное распределение припуска между отдельными поверхностями приводит к снижению производительности и одновременно к появлению погрешности обработки.

Величина неравномерности припуска зависит от способа получения заготовки, ее размеров, материала, геометрической формы и т.д. и, согласно ГОСТу 7062-90, может принимать значения:

- для гладких поковок круглого и прямоугольного сечения, а также круглого сечения с уступами длиной до 1000 мм и диаметром до 140 мм колебания припуска (неравномерность) составит 4 мм;
- диаметром от 140 мм до 200 мм – 5 мм;
- диаметром от 200 мм до 280 мм – 6 мм.

Данные заготовки используются для производства деталей типа «тело вращения» практически во всех отраслях машиностроения, поэтому целесообразно рассмотреть именно эту группу деталей.

Для обработки таких деталей, в зависимости от их назначения, широко используются различные станки, обрабатывающие центры и автоматические линии. Рассмотрим токарные станки, занимающие значительную долю в парке металлорежущего оборудования и используемые как при черновой (14 квалитет), так и высокоточной (1-2 квалитет) обработке.

Изменение силы резания при равенстве прочих параметров можно определить, как

$$\Delta P = f(\Delta z; \Delta HV; h_d),$$

где:  $\Delta z$  – колебание припуска заготовки;

$\Delta HV$  – колебания твердости поверхности заготовки,

$h_d$  – состояние и величина дефектного слоя, обусловленного трещиноватостью, упруго-напряженным состоянием и т.д.

## Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

При наружном продольном точении радиальная составляющая силы резания вычисляется по формуле:  $P_y = C_p t^x S^y v^n k_p$  (кН), где постоянные  $C_p$ ,  $k_p$ , показатели степени  $x$ ,  $y$ ,  $n$ , подача  $S$  и глубина  $t$  выбираются для конкретных условий обработки; скорость резания определяется как  $V = \frac{\pi D n}{1000}$  (м/мин), где  $D$  – диаметр обрабатываемой детали (мм);  $n$  – частота вращения заготовки ( $\text{мин}^{-1}$ ).

Если заготовка будет иметь неправильную геометрическую форму или неравномерный припуск по длине ( $\Delta z$ ), то глубина резания в процессе обработки будет изменяться от наибольшей ( $t_{\text{нб}}$ ) до наименьшей ( $t_{\text{нм}}$ ) на величину  $\Delta t = t_{\text{нб}} - t_{\text{нм}}$ , а сила резания будет изменяться на величину  $\Delta P = P_{\text{нб}} - P_{\text{нм}}$ :  $\Delta P_y = C_p S^y v^n k_p (t_{\text{нб}}^x - t_{\text{нм}}^x)$ . Если принять жесткость технологической системы ( $J$ ) постоянной, то погрешность детали будет равна  $\Delta_{\text{дет}} = \frac{1}{J} \Delta P_y$ , следовательно,  $J \geq \Delta P_y / \Delta_{\text{дет}}$ .

Исходя из этого определим, как неравномерность снимаемого припуска влияет на изменение силы резания.

Рассмотрим черновое точение поковки диаметром 120 мм из стали 45. Выбираем резец, оснащенный СНП (сменная неперегачиваемая пластина) из материала T15K6 фирмы Sandvik. Примем глубину резания  $t=5$  мм, подачу  $S=1,5$  мм/об,  $V=102$  м/мин. Получим величину изменения силы резания  $\Delta P_y = 870,8077$  Н.

При черновом точении поковки диаметром 170 мм. Принимая аналогичные режимы резания, получим  $\Delta P_y = 1085,746$  Н.

При черновом точении поковки диаметром 240 мм получим  $\Delta P_y = 1299,824$  Н.

Оценку состояния станка по жесткости предлагается проводить с помощью критерия допустимой (необходимой) жесткости. [3]

$$J_{\text{yc}} \geq [J_{\text{yc}}],$$

где:  $J_{\text{yc}}$  – жесткость упругой системы (УС) станка по оси  $Y$ ;

$[J_{\text{yc}}]$  – максимальная допустимая жесткость в зависимости от типоразмера и класса точности станка.

В свою очередь  $[J_{\text{yc}}]$  определяется зависимостью:

$$[J_{\text{yc}}] = \frac{P_y}{[\Delta Y_r]},$$

где:  $[\Delta Y]$  – величина допустимого относительного упругого перемещения заготовки и режущего инструмента при обработке, определяемая допуском по заданному качеству точности обработки на станке данного типоразмера и класса точности.

$$[\Delta Y] = \frac{1}{3} \Delta_{\text{cp}},$$

где:  $\Delta_{\text{cp}}$  – средний допуск на размер по 7-му, 8-му, 9-му квалитетам (при одностороннем допуске). При двухстороннем допуске (допуск на диаметр) в приведенное выражение следует подставить  $\left(\frac{\Delta_{\text{cp}}}{2}\right)$ . Средний допуск определяется:  $\Delta_{\text{cp}} = \frac{\Delta(7) + \Delta(8)}{2}$  – для

станков класса точности П;  $\Delta_{\text{cp}} = \frac{\Delta(8) + \Delta(9)}{2}$  – для станков класса точности Н.

Здесь  $\Delta(7)$ ,  $\Delta(8)$ ,  $\Delta(9)$  – значения допусков для 7-го, 8-го, 9-го квалитетов точности для соответствующего размерного интервала. Результаты расчетов распространяются на весь ве-

роятный интервал размеров заготовок, обрабатываемых на данном станке.

Также, принимая жесткость УС (технологической системы) постоянной, можно определить изменение величины относительного упругого перемещения заготовки и режущего инструмента ( $\Delta Y$ ):

$$\Delta Y = \frac{\Delta P_y}{[J_{yc}]}$$

Рассмотрим влияние силы резания и ее колебания на характеристики технологического оборудования исходя из уже полученных значений (таблица 1).

Таблица 1

**Определение упругих перемещений в технологической системе**

Интервал вероятных размеров, мм	Квалитет точности	Допуск на размер, мкм [4]	Средний допуск, $\Delta_{ср}$ , мкм	Допустимое упругое перемещение [ $\Delta Y$ ], мкм	Допустимая жесткость [ $J_{yc}$ ], Н/мкм	Изменение упругого перемещения $\Delta Y$ , мкм	Класс точности станка
80-120	7	35	44,5	7,42	154,86	5,62	П
	8	54	70,5	11,75	97,75	8,91	Н
	9	87					
120-180	7	40	51,5	8,58	133,81	8,11	П
	8	63	81,5	13,58	84,56	12,84	Н
	9	100					
180-250	7	46	59	9,83	116,8	11,13	П
	8	72	93,5	15,58	73,7	17,64	Н
	9	115					

Проанализировав полученные данные, видно, что колебание (неравномерность) припуска ведет к изменению упругого перемещения. Так, при точении заготовок из стали 45 с одинаковыми режимами резания (резец с СНП из материала Т15К6, глубина резания  $t=5$  мм, подача  $S=1,5$  мм/об, скорость резания  $V=102$  м/мин) получаем:

- для заготовки диаметром 120 мм неравномерность припуска составляет 4 мм, допустимое упругое перемещение составляет для станков повышенной точности 7,42 мкм; и 11,75 мкм для станков нормальной точности. Эти перемещения могут принимать значения 5,62 мкм и 8,91 мкм соответственно, что составляет 75,8% от допустимой величины;
- для заготовки диаметром 170 мм неравномерность припуска составляет 5 мм, допустимое упругое перемещение составляет для станков повышенной точности 8,58 мкм; и 13,58 мкм для станков нормальной точности. Эти перемещения могут принимать значения 8,11 мкм и 12,84 мкм соответственно, что составляет 94,53% от допустимой величины;
- для заготовки диаметром 240 мм неравномерность припуска составляет 6 мм, допустимое упругое перемещение составляет для станков повышенной точности 9,83 мкм; и 15,58 мкм для станков нормальной точности. Эти перемещения могут принимать значения 11,13 мкм и 17,64 мкм соответственно, что составляет 113,17% от допустимой величины.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- неравномерность припуска обрабатываемых заготовок оказывает существенное влияние на упругие характеристики технологического оборудования и изменение его выходных параметров точности, особенно при изготовлении крупногабаритных деталей;
- при расчете режимов резания, обеспечивающих требуемое качество обработки, необхо-

димо выполнение условия:  $J \geq \Delta P_y / \Delta \text{дет.}$

### Литература

1. Пуховский Е.С., Мясников Н.Н. «Технология гибкого автоматизированного производства». – К.: Тэхника, 1989.- 207 с.
2. Старков В.К. «Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве». – М.: Маш-ние, 1989. – 296 с.
3. Агафонов В.В. «Обеспечение жесткости станка при проектировании». – Вестник Брянского государственного технического университета №2 (10), 2006, с.97-101,
4. СТ СЭВ 145-88

### **Оптимизация технологического процесса лазерной обработки с позиций системно-синергетического анализа**

к.т.н. Исаков В.В.  
ФГУП ММПП «Салют»

*Аннотация.* В статье проанализированы подходы к проблеме оптимизации процесса лазерной обработки для решения актуальных задач технологии машиностроения. Разработана методика оптимизации технологии лазерной обработки, основанная на синергетической схеме оценки ключевых параметров. Результаты оптимизации на основе рекуррентного соотношения позволяют сформулировать требования к технологической эффективности лазерного метода обработки.

*Ключевые слова:* лазерная обработка, оптимизация технологии, системно-синергетический анализ

**Введение.** Технология лазерной обработки стала в настоящее время неотъемлемой составной частью наукоемкого машиностроительного производства. Лазерную технологию используют для резки, сварки, маркировки, поверхностной обработки самых различных материалов. Для обеспечения высокого качества, производительности и экономической эффективности необходимо процесс лазерной обработки оптимизировать таким образом, чтобы были достигнуты его предельные возможности. Традиционные методы оптимизации базируются на поиске экстремальных значений максимума или минимума целевой функции  $D_i(x)$  одной или нескольких переменных [1]. Теория экстремальных задач стоит на простом соображении – обращении в нуль производной оптимизируемого функционала. Решение конкретных задач оптимизации осуществляется с помощью методов математического программирования.

В последние годы разработано множество алгоритмов в области решения задач математического программирования как при наличии ограничений, так и для безусловной оптимизации. В этой связи следует отметить, что постановка и сведение задач оптимального проектирования к задаче математического программирования неизбежно содержат элементы субъективизма. Для его преодоления в постановках задач скалярной оптимизации используют подходы, связанные с именем В. Парето (1848-1923). Целью оптимального проектирования при этом является построение области компромиссов, называемой также множеством неулучшаемых альтернатив. Оптимальные по Парето альтернативы исчерпываются решениями параметрической задачи оптимизации вида,  $\sum_i \mu_i D_i(x) \rightarrow \max, x \in X$ . Варьирование параметров  $\mu_i$  позволяет перебрать все паретовские решения искомой задачи.

**Проблема.** Для успешного применения этих процедур оптимизации, в первую очередь, требуются функциональные зависимости, адекватно описывающие переменные, действующие в лазерной технологической системе. Необходимо подчеркнуть, что получить приемлемые соотношения в виде целевых функций удается далеко не всегда. Анализ показывает, что