

УДК 621.941.1 (7.015)

И. А. Петряева, канд. техн. наук, **Е. П. Мельникова**, д-р техн. наук, профессор,
А. П. Рудыч, студент

Донецкий национальный технический университет, ДНР

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: irina_petryaeva@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ТОЧЕНИЕМ И ППД

На основе комплексного исследования взаимосвязей параметров обработки и их оптимизации по критерию максимальной производительности решена важная практическая задача разработки теоретического управления процессами комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки.

Ключевые слова: комбинированная обработка, алмазное выглаживание, шероховатость, оптимизация, критерий производительности.

I. A. Petryaeva, E. P. Melnikova, A. P. Rudich

RESEARCH OF FEATURES OF IMPROVING THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER AND PROCESSING PRODUCTIVITY AT THE BASIS OF APPLICATION OF COMBINED PROCESSING BY TURNING AND SPD

On the basis of complex research of intercommunications between the parameters of treatment and their optimization on the criterion of the burst performance the important practical task of development of theoretical government the processes of combined treatment is decided.

Keywords: combined processing, diamond smoothing, roughness, optimization, performance criterion.

1. Введение

Использование комбинированных методов механической обработки деталей машин достаточно перспективно для повышения эффективности современного машиностроительного производства. Многообразие методов механообработки определяет широту возможностей по их комбинированию. Однако не все комбинации имеют практическую ценность. Во многих случаях технические показатели комбинированных процессов близки, часть процессов несовместима и их сочетание может привести к ухудшению качественных характеристик поверхностного слоя. Особое место среди методов повышения качества деталей машин занимает комбинированная обработка, совмещающая лезвийную и отделочно-упрочняющую обработку. Такой метод позволяет не только повысить качество поверхности, но и дает возможность увеличить производительность, снизить трудоемкость обработки, является существенным преимуществом комбинированной обработки перед другими средствами повышения качества поверхностного слоя.

Основные закономерности формирования поверхностного слоя деталей отдельно для лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки широко представлены в справочно-нормативной литературе в виде теоретических и эмпирических зависимостей [1, 2, 3]. Однако сведения об особенностях комбинированной обработки практически отсутствуют, что затрудняет обоснование рациональных условий ее применения и прогнозирования параметров состояния обработанной поверхности.

В последующее время известны рекомендации по оптимизации режимов комбинированной обработки точением и обкаткой с использованием метода линейного программирования [4]. Среди методов отделочно-упрочняющей обработки значительное место занимает алмазное выглаживание [5]. Практический интерес представляет обоснование возможности использования комбинированной обработки точением и выглаживанием и определение оптимальных режимов комбинированной обработки, обеспечивающих максимальную производительность для любых заданных условий и требований к качеству обработанных поверхностей.

Цель представленной работы: повышение производительности механической обработки и качества поверхностного слоя деталей машин за счет применения комбинированной обработки, совмещающей выглаживание с предварительной обработкой точением.

2. Основное содержание и результаты работы

Исследование закономерностей формирования параметров состояния поверхностного слоя, в частности шероховатости, при комбинированной обработке, в том числе при одновременной обработке точением и поверхностно-пластическим деформированием, имеет определенные особенности. В том случае, когда ППД осуществляется как самостоятельная операция, параметры исходной шероховатости постоянные. При комбинированном точении и выглаживании исходные параметры шероховатости зависят от условий обработки, что необходимо учитывать при их нормировании.

Высота профиля шероховатости определяется составляющими профиля шероховатости, обусловленными геометрическими параметрами инструмента, деформациями обрабатываемого материала, шероховатостью кромок режущего инструмента.

Для определения составляющей профиля шероховатости, обусловленной геометрическими параметрами инструмента, используются известные для каждого из видов обработки теоретические зависимости:

- при отделочно-упрочняющей обработке:

$$R_{z\text{ оу}} = S^2/8R + R_{zi} - h_{\text{пл оу}} + R_{\text{ин оу}}, \quad (1)$$

- при лезвийной обработке, являющейся исходной для последующей отделочно-упрочняющей:

$$R_{z\text{ исх}} = \frac{r}{\cos \gamma} - \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2 \cos \gamma} + h_{\text{пл лез}} + R_{\text{ин лез}}, \quad (2)$$

где R - радиус индентора; r - радиус при вершине резца; S - подача; $h_{\text{пл оу}}$, $h_{\text{пл лез}}$ - величины пластических деформаций; $R_{z\text{ оу}}$ - составляющая профиля шероховатости при отделочно-укрепляющей обработке; $R_{z\text{ исх}}$ - исходная высота шероховатости; $R_{\text{ин}}$ - шероховатость кромок режущего инструмента; $R_{\text{ин оу}}$, $R_{\text{ин лез}}$ - высота неровностей профиля шероховатости инструментов; γ - передний угол резца.

Составляющая профиля, обусловленная деформациями обрабатываемого материала определяется как разница исходной высоты шероховатости $R_{z\text{ исх}}$ и величины ее пластических деформаций $h_{\text{пл}}$:

$$h_z = R_{z\text{ исх}} - h_{\text{пл}}. \quad (3)$$

Фактическая площадь контакта инструмента и заготовки с учетом исходной шероховатости определяется следующей зависимостью [1]:

$$A_r = A_a \frac{t_{m\text{ исх}}}{100} \left(\frac{h_{\text{пл}}}{R_{P\text{ исх}}} \right)^{\nu_{\text{исх}}}, \quad (4)$$

где $t_{m_{исх}}$ - относительная длина опорной линии исходного профиля шероховатости на уровне средней линии, %; $R_{p_{исх}}$ - высота сглаживания выходного профиля шероховатости; $v_{исх}$ - параметр начального участка кривой опорной линии исходного профиля шероховатости.

A_a - номинальная площадь контакта инструмента и заготовки, состоит из фронтальной площади контакта $A_{a_{фр}}$ и площади упругого последствия $A_{a_{упр}}$:

$$A_a = A_{a_{фр}} + A_{a_{упр}} \quad (5)$$

При контакте индентора с заготовкой составляющие номинальной площади определяются из рис. 1.

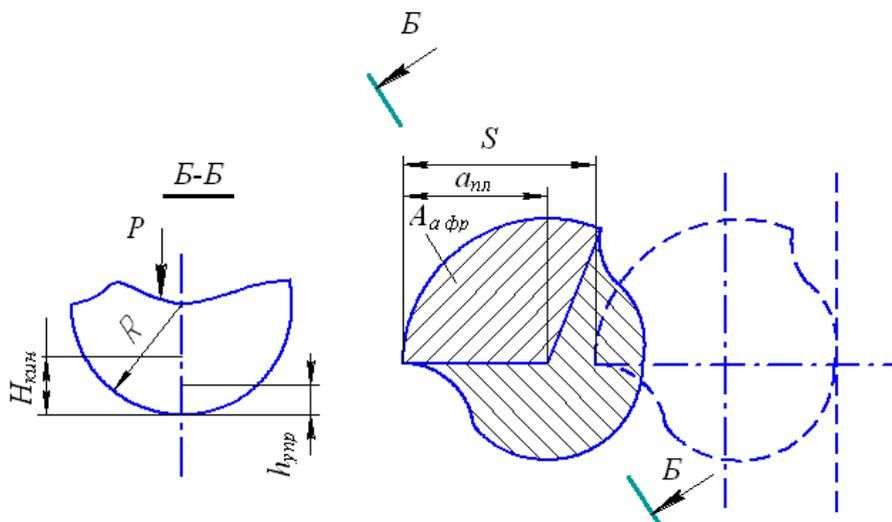


Рисунок 1. Исходная схема для расчета номинальной площади контакта индентора и детали при обработке ППД

Сложные теоретические зависимости целесообразно представить в упрощенном

виде, в виде регрессионной зависимости параметра шероховатости R_a от подачи S при комбинированной обработке:

$$R_{a_{ком(S)}} = A \cdot S^a, \quad (6)$$

где A - постоянный коэффициент, a - показатель степени влияния подачи на параметр шероховатости.

Для следующих условий комбинированной обработки точением и выглаживанием построены графики зависимости параметра шероховатости (рис. 2): $R_a = 0,2R_z$ от подачи: обрабатываемый материал-сталь 45; радиус при вершине резца $r = 2$ мм; передний угол резца $\gamma = 5^\circ$, углы в плане $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 45^\circ$; глубина резания $t = 1$ мм; диаметр индентора $D = 3$ мм; усилие выглаживания $P = 100$ Н.

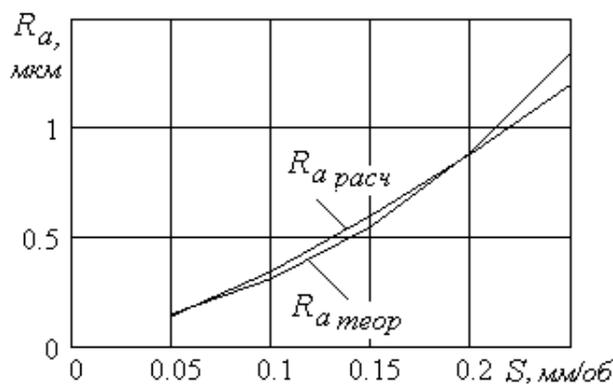


Рисунок 2. Графики зависимости регрессионных $R_{a_{расч}}$ и теоретических $R_{a_{теор}}$ параметров шероховатости от подачи S при совместном точении и алмазном выглаживании

Для приведенных условий обработки, с использованием программного пакета Mathcad 2001 Professional установлена зависимость:

$$R_{a\text{ком}} = 7,69S^{1.34} \tag{7}$$

На рис. 2 представлены графики зависимости параметра шероховатости от подачи при комбинированной обработке точением и выглаживанием, полученные по теоретической и регрессионной зависимости.

По полученным графикам может оцениваться изменение шероховатости при изменении подачи, а также устанавливаться значение подачи, соответствующее заданным значениям параметров шероховатости.

Приведенная регрессионная зависимость позволяет рассчитать значение шероховатости в зависимости от подачи для широкого диапазона условий. В качестве примера использования приведенной эмпирической зависимости представлены значения показателей a и A для некоторых условий обработки.

Таблица 1. – Значения коэффициентов регрессионной зависимости шероховатости от подачи

Обрабатываемый материал			30	45	40Х	18ХГТ
σ_b , МПа			490	598	630	700
σ_T , МПа			294	353	330	430
Радиус при вершине реза	0,8	A	22,97	18,56	19,49	19,01
		a	1,78	1,55	1,61	1,58
	1,2	A	14,18	12,12	12,57	12,34
		a	1,65	1,46	1,51	1,48
	1,6	A	10,47	9,25	9,52	9,38
		a	1,55	1,38	1,44	1,41
	2	A	8,54	7,68	7,87	7,77
		a	1,49	1,33	1,38	1,36
2,4	A	7,38	6,71	6,87	6,79	
	a	1,44	1,3	1,34	1,32	

Полученная зависимость параметра шероховатости $R_{a\text{ком}}$ от подачи S используется для определения оптимальных режимов комбинированной обработки. Оптимизацию выполняем методом линейного программирования [4], что позволяет осуществлять одновременную оптимизацию скорости и подачи с учетом действующих при обработке ограничений по критерию максимальной производительности.

В качестве целевой функции рассматриваем производительность обработки, обусловленную основным временем: $t_0 = L/ns$. Максимум производительности достигается при минимуме основного времени, или максимуме произведения $n \cdot s \rightarrow \max$.

При комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработке рассматриваются следующие ограничения:

1) по возможностям лезвийного режущего инструмента, обусловленных скоростью резания, соответствующего его стойкости.

$$\pi Dn/1000 \leq C_V K_V / T^{m_v} t^{x_v} s^{y_v}, \tag{8}$$

где D – диаметр обработки, C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m_v – показатели, характеризующие степень влияния глубины t , подачи s и стойкости T на скорость резания V , определяемые в зависимости от условий эксплуатации;

2) по предельно допустимой мощности резания, обусловленной мощностью электродвигателя привода главного движения станка N_{cm} :

$$K_o C_P K_P S^{y_p} t^{x_p} (\pi L n)^{(n_p + 1)} / 6 \cdot 10^{3(n_p + 2)} \leq N_{cm} \eta \quad (9)$$

где C_P, K_P – коэффициенты, x_p, y_p, n_p – показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и скорости на силу резания P_z , определяемые в зависимости от условий эксплуатации, η – коэффициент полезного действия передач станка; K_o – коэффициент, учитывающий увеличение сил во время комбинированной обработки, принимается в диапазоне 1,2-1,5;

3) по предельно допустимой шероховатости обработанной поверхности R_a :

$$A \cdot S^a \leq R_{a\ доп} \quad (10)$$

4) по температуре резания:

$$C_t t^{x_t} S^{y_t} v^{n_t} \leq \Theta_{\ доп} \quad (11)$$

где C_t – постоянный коэффициент для заданных условий обработки, n_t, y_t, x_t – показатели степени, которые определяют влияние на температуру скорости резания, подачи и глубины резания.

5) по предельно допустимым диапазонам частоты вращения и подачи, обусловленным кинематической структурой привода главного движения и привода подач:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}, \quad S_{\min} \leq S \leq S_{\max} \quad (12)$$

На основании выполненного анализа ограничений, для любых условий комбинированной обработки точением и поверхностным пластическим деформированием оптимальная подача может быть определена:

$$S_{\text{онм}} = (Ra / A)^{1/a} \quad (13)$$

Оптимальная скорость резания:

$$v_{\text{онм}} = \begin{cases} \left(\frac{\Theta \cdot S_{\text{онм}}^{-y_t}}{C_t \cdot t^{x_t}} \right)^{\frac{1}{z_t}}, & \text{если } \Theta_{\ доп} < \Theta_0 \\ \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} S_{\text{онм}}^{y_v}}, & \text{если } \Theta_{\ доп} \geq \Theta_0 \end{cases},$$

где Θ_0 – температура обработки, определяющая влияние температуры на оптимальные режимы комбинированной обработки:

$$\Theta_o = C_t t^{x_t} \left(\frac{C_v K_v}{T^m t^{x_v}} \right)^{n_t} \left[\frac{A}{R_a} \right]^{\frac{(y_t n_t - y_t)}{a}}.$$

По этим формулам можно определять оптимальные режимы комбинированной обработки точением и выглаживанием для любых исходных условий.

Приведенная методика определения оптимальных режимов комбинированной обработки точением и поверхностным пластическим деформированием базируется на использовании эмпирических зависимостей для формирования системы ограничений. Такие зависимости являются представительными, математическая модель процесса комбинированной обработки определяется в результате линеаризации этих

ограничений путем логарифмирования. Однако эти зависимости имеют ограниченную область применения и могут быть использованы только для конкретных заранее оговоренных условий: для заданной геометрии инструмента, характеристик обрабатываемого материала, режимов обработки.

Для определения оптимальных режимов комбинированной обработки точением и выглаживанием составлена табл. 2, что позволяет найти оптимальное сочетание скорости, подачи в зависимости от требуемых параметров шероховатости обрабатываемой поверхности и глубины резания при точении для указанных условий при ограничении по температуре $\theta_{доп} = 800^\circ\text{C}$.

Таблица 2. – Оптимальные значения режимов комбинированной обработки точением и поверхностным пластическим деформированием

Глубина t , мм	Шероховатость обработанной поверхности Ra, мкм									
	0.25		0.32		0.5		0.63		1.25	
	S, мм/об	V, м/мин	S, мм/об	V, м/мин	S, мм/об	V, м/мин	S, мм/об	V, м/мин	S, мм/об	V, м/мин
0.5	0,07	140	0,09	125,7	0,1	102	0,15	92	0,25	68
0.8		129		115		94		92,5		62
1		124		111,5		91		82		60
1.5		116		105		85		76		56

3. Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено влияние параметров механической обработки на шероховатость обработанной поверхности, разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания и условий комбинированной обработки, обеспечивающих повышение производительности обработки и качества поверхностного слоя деталей машин для любых условий механической обработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Качество машин: Справочник в 2-х т. / А. Г. Суслов, Э. Д. Браун, Н. А. Виткевич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.
2. Качество машин: Справочник в 2-х т. Т. 2 / А. Г. Суслов, Ю. В. Гуляев, А. М. Дальский [и др.] – М.: Машиностроение, 1995. – 430с.
3. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208с.
4. Ивченко, Т. Г. Оптимизация параметров процесса лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки / Т. Г. Ивченко, О. С. Дубоделова // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – Т. 2. – С. 34-36.
5. Бойцов, А. Г. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А.Г. Бойцов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 144 с.

Поступила в редколлегию 14.02.2020 г.