

Рис. 5. Влияние параметров лазерной обработки на шероховатость поверхности чугуна ВЧ50 (а) и СЧ20 (б) при мощности 2 кВт

2. Новик Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металлведении. Планирование промышленных экспериментов. – М., 1971. – 36 с.
3. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 264 с.
4. Коваленко В.С., Головки Л.Ф., Черненко В.С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера – К.: Техника, 1990. – 192 с.
5. Дубняков В.Н., Кашук О.Л./ МИТОМ, 1986. – №9. – С. 35-39.
6. Влияние лазерной обработки на коррозионные свойства чугуна// В.Ю. Васильев, Н.В. Еднерал, Т.Г. Кузьменко и др./Защита металлов. – 1982. – Т.18. – С. 123-127.

Материал поступил в редакцию 25.04.08

KARDAPOLOVA M.A., DEVOINO O.G. Etc. RESEARCH OF PROCESS OF THERMAL HARDENING OPTICAL FIBER BY THE LASER OF HIGH-STRENGTH PIG-IRON BCh-50 WITH USE OF METHODS OF MATHEMATICAL MODELING

In clause the experimental data of laser thermal hardening of high-strength and grey pig-iron are given.

The results of researches have allowed to develop technological process of hardening of details of auto tractor engineering. The recommended technology of hardening increases durability and deterioration stability of property of details, that is confirmed by operation of a tractor "Belarus".

УДК 621.97

Мрочек Ж.А., Шатуров Г.Ф., Жолобов А.А., Шатуров Д.Г.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ РЕЗАНИЕМ И ОБКАТЫВАНИЕМ

Введение. Результаты исследований процесса совмещенной обработки цилиндрических поверхностей (валов, штоков) резанием призматическим резцом с одновременным обкатыванием роликом или шариком, установленными оппозитно резцу, показывают, что точность диаметральных размеров в продольном сечении валов, по сравнению с раздельной обработкой, повышается до 40 %, а погрешность формы значительно (до 4 раз) уменьшается [1,2]. Недостатком известных комбинированных инструментов является несбалансированность стойкости режущего элемента – резца и упрочняющего элемента – ролика или шарика комбинированного инструмента, поскольку стойкость деформирующих элементов в несколько раз выше стойкости режущих. Это обстоятельство не позволяет получать поверхность с однородной шероховатостью на всей длине вала, вследствие непрерывного износа лезвия резца, особенно в формообразующей поверхности точке лезвия – вершине резца. В результате происходит увеличение диаметра обкатываемой поверхности, натяга деформирующего элемента и усилия деформирования.

Использование в качестве режущего элемента самовращающихся (ротационных) резцов в какой-то степени решает эту проблему, так как их стойкость, вследствие увеличения длины режущей кромки (РК) в 3-4 раза, выше стойкости призматических резцов. Од-

нако перемещение РК со скоростью, соизмеримой со скоростью вращения заготовки, приводит к быстрому механическому и термическому износу лезвия, образованию волнистости на обрабатываемой поверхности, вследствие биения РК, и к ухудшению качества поверхности.

Анализ способов обработки резания. Альтернативой известным способам обработки резанием может служить процесс резания чашечным резцом с микрообновлением режущей кромки (МОРК) (рис. 1) [3].

Во всех известных процессах обработки поверхностей резанием каждый последующий участок обрабатываемой поверхности формообразуется лезвием инструмента, имеющим определенный износ, полученный при обработке предыдущего участка поверхности. Это заранее предопределяет ухудшение качества обработки последующего участка по сравнению с предыдущим. Особенно это сказывается при обработке валов большой протяженности, когда разница в качестве обрабатываемой поверхности в начале и в конце обработки одной заготовки детали достигает максимального значения.

Обработка резанием чашечным резцом с микрообновлением РК, принудительная скорость перемещения которой на 5-6 порядков

Мрочек Жорж Адамович, д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

Шатуров Геннадий Филиппович, д.т.н., профессор кафедры экономики Гродненского филиала ЧУО "БИП - Институт правоведения". Беларусь, БИП-ИП, 230005, г. Гродно, ул. Дзержинского 41/2.

Жолобов Александр Алексеевич, к.т.н., профессор первый проректор Могилевского Российско-Белорусского университета.

Шатуров Дмитрий Геннадьевич, аспирант Российско-Белорусского университета.

Беларусь, ГУВПО БРУ, 212005, г. Могилев, пр. Мира, 43.

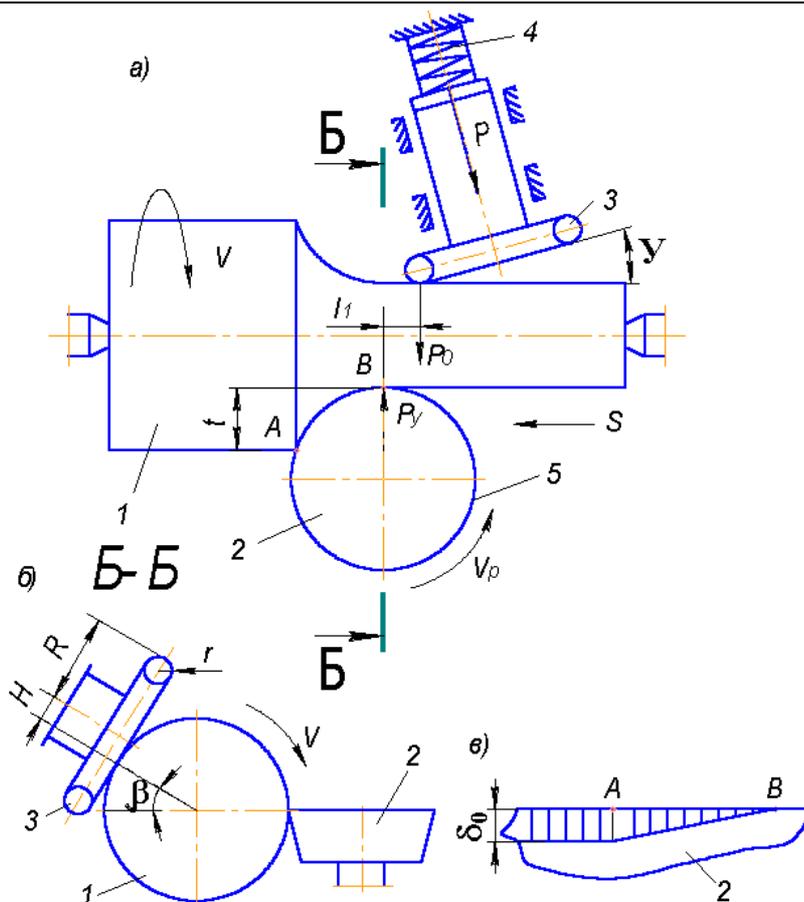


Рис. 1. Схема совмещенной обработки (а, б) и вид износа режущей кромки (в) чашечного резца с непрерывным и однократным ее обновлением: 1 – заготовка; 2 – чашечный резец с МОРК; 3 – торовый ролик; 4 – упругий элемент (пружина); 5 – режущая кромка резца; V, V_p, S – направления вращения заготовки, резца и перемещение резца соответственно

меньше скорости вращения заготовки, предопределяет обработку каждого последующего участка обрабатываемой поверхности новым неизношенным участком кругового лезвия, совершающим за период стойкости один оборот. Минимальная скорость перемещения РК устанавливается исходя из условия, выработки ресурса износостойкости характерной точкой лезвия за время прохождения угла его контакта с обрабатываемой заготовкой при ее перемещении в зоне резания в направлении подачи. Это позволяет максимальный износ лезвия перенести на периферию в зону контакта с необработанной поверхностью заготовки, с уменьшением его величины до минимальных размеров на формообразующем участке лезвия, остающихся постоянными за весь период стойкости инструмента. Это обстоятельство гарантирует неизменное и одинаковое качество обрабатываемой поверхности за определенный период времени работы инструмента, стойкость которого на порядок выше стойкости всех известных режущих инструментов. Так, например, при чистовой обработке поверхности стального вала (материал заготовки вала – сталь 50) диаметром 850 мм и длиной 8600 мм на режимах: скорость резания $V = 7,1 \text{ м/с}$, подача $S = 0,5 \text{ мм/об}$ глубина резания $t = 0,5 \text{ мм}$, скорость перемещения режущей кромки $V_p = 10 \text{ мкм/с}$, обеспечивалась шероховатость поверхности $R_a = 0,7...0,8 \text{ мкм}$, точность обработки на всей длине вала не превышала 0,045 мм.

Использование в комбинированном инструменте одного деформирующего элемента, установленного оппозитно резцу, позволяет значительно упростить конструкцию инструмента и его настройку, повысить точность управления упругими деформациями элементов технологической системы (ТС), по сравнению с многоэлементными обкатниками, когда их суммарная жесткость в направлении действия радиальной составляющей P_y силы резания может значительно различаться ввиду неодинаковой жесткости каждого элемента.

В качестве деформирующего элемента оптимальным вариантом следует признать использование самовращающегося торового ролика, изготовленного из твердосплавного режущего элемента диаметром 46 мм, ось которого установлена на подшипниках качения и развернута в направлении подачи на угол $\varphi = 15...25^\circ$ и смещена на величину H относительно оси заготовки (в направлении скорости обработки).

$$H = 0,7(R - r),$$

где R, r – соответственно наружный и профильный радиус ролика.

Это обеспечивает расположение пятна контакта ролика с заготовкой под углом 45° к направлению подачи и перемещение деформирующего участка ролика в зоне контакта в сторону необработанной поверхности, что обеспечивает, с одной стороны, равномерность его вращения, а, с другой – наибольшую протяженность контакта в направлении подачи S , что в совокупности гарантирует наилучшее качество обрабатываемой поверхности (рис. 2).

Результаты исследований. На основании анализа результатов выполненных исследований определены оптимальные установочные параметры при упругом контакте тороидального ролика с заготовкой: $\varphi = 20^\circ, H = 12 \text{ мм}$ и оптимальные режимы обработки валов комбинированным инструментом: $V = 150...160 \text{ м/мин}$; $S = 0,2...0,3 \text{ мм/об}$; $t = 0,4...0,6 \text{ мм}$; $P = 500...700 \text{ Н}$. Шероховатость после обработки составляла $R_a = 0,16...0,3 \text{ мкм}$ при исходной $R_a = 0,4...0,6 \text{ мкм}$ (рис. 2).

Величина шероховатости в зависимости от усилия обкатывания при обработке комбинированным инструментом с призматическим резцом меняется по параболическому закону (рис. 3)

$$R_a = 0,25 \cdot 10^{-5} P_0^2 - 0,255 \cdot 10^{-2} \cdot P_0 + 0,81, \text{ мкм}$$

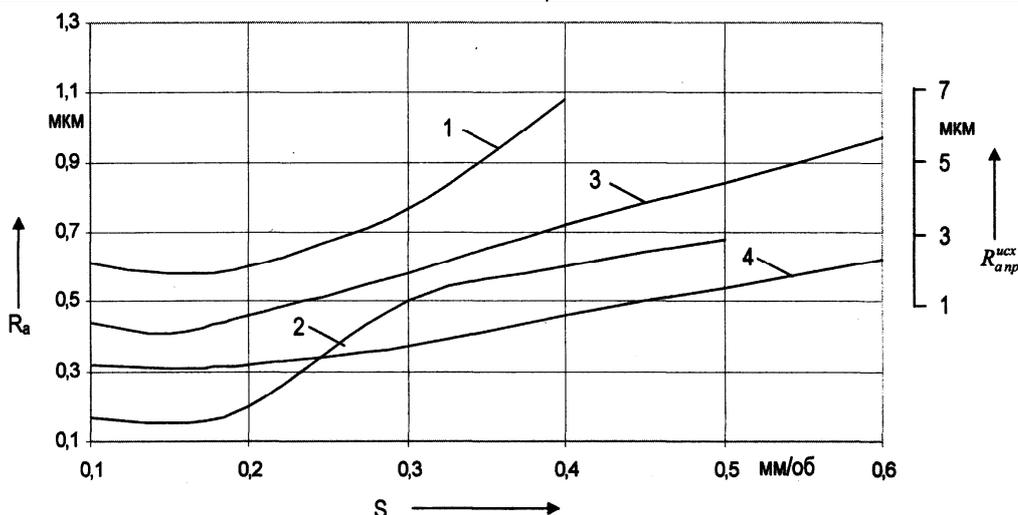


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от величины подачи S при обработке комбинированным инструментом с призматическим резцом (1, 2) и резцом с МОРК (3, 4): 1 - $R_{a\text{исх.пр}} = f(S)$ - поле призматического резца; 3 - $R_{a\text{исх.}} = f(S)$ - поле резца с МОРК; $t=0,5$ мм; $V=2,4$ м/с; $P_0=500$ Н

и имеет наименьшую величину равную $R_a = 0,16$ мкм при $P_0 = 510$ Н и $S = 0,2$ мм/об.

При обработке комбинированным инструментом с резцом с микрообновлением РК форма зависимости изменения величины шероховатости от усилия деформирования сохраняется, но наименьшая величина шероховатости равная $R_a = 0,26$ мкм, имеет место при большем усилии обкатывания $P_0 = 616$ Н (рис. 3).

$$R_a = 0,164 \cdot 10^{-5} P_0^2 - 0,202 \cdot 10^{-2} \cdot P_0 + 0,88, \text{ мкм.}$$

Это объясняется тем, что при предварительном точении чашечным резцом с МОРК формируется более пологий микрорельеф с большими радиусами вершин и впадин. Поверхностное пластическое деформирование такого микрорельефа связано с большими усилиями обкатывания и с уменьшенной разницей в величинах шероховатости поверхности между исходной, после точения резцом, и окончательной, после обкатывания роликом.

Погрешность размеров в продольном сечении вала, возникающая при совмещенной обработке резанием и обкатыванием зависит от жесткости элементов технологической системы: опор крепления вала, жесткости заготовки и устройства, в котором расположен деформирующий элемент, усилия резания и деформирования.

Представим технологическую систему как две упругие подсистемы. К первой подсистеме отнесем переднюю и заднюю опоры вала и заготовку, а вторая подсистема будет состоять из упругого элемента, например пружины, входящей в конструкцию тороидального ролика и действующей с усилием P на деформирующий элемент при сжатии пружины на величину $i/\cos \phi$, где i - величина натяга (заглубления) деформирующего элемента относительно обрабатываемой поверхности.

Ввиду малой величины расстояния $l_1 (l_1 \leq 2$ мм) между деформирующим элементом и формообразующей точкой резца – точкой В предположим, что радиальная составляющая P_y силы резания и радиальная составляющая P_0 силы P расположены на одной линии, проходящей через вершину резца – точку В (рис. 1). Сила P_y уравновешивается силами упругости двух подсистем и силой обкатывания P_0 :

$$P_y = P_1 + P_2 + P_0, \quad (1)$$

где $P_y = 1079t^{1,46} \cdot S^{1,53} \cdot V^{0,43} (V_p \cdot 10^5)^{-0,82}$, (Н) - для резца с МОРК;

$$P_1 = Y_{xc} / W_{ox}; \quad P_2 = Y_{xc} / W_p; \quad P_0 = P_g \cdot \cos \phi = \frac{i}{W_p};$$

$$W_{ox} = W_{зб} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 + W_{пб} \left(\frac{x}{l}\right)^2 + \frac{l^3}{3EY} \left(\frac{x}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2,$$

где P_1, P_2 - усилия деформирования, воспринимаемые первой и второй подсистемами от действия силы P_y соответственно, Н; P_0 - усилие деформирования, Н; P - усилие действия пружины, Н; $W_{ox}, W_p, W_{пб}, W_{зб}$ - податливость соответственно первой и второй подсистем, задней и передней бабок станка, мкм/Н; l - длина вала, мм; E - модуль упругости материала заготовки; l - момент инерции сечения вала; i - величина натяга или величина предварительного сжатия пружины обкатника; Y_{xc} - радиальное упругое перемещение оси вала в сечении, в котором определяется погрешность обработки; x - расстояние от торца заготовки до расположения резца.

Величина упругих перемещений оси вала, вследствие изменения жесткости ТС, меняется по мере перемещения резца вдоль оси заготовки и имеет, например, для жестких валов ($l/D \leq 12$) максимум в начале обработки ($x=0$), т.е. в месте крепления заготовки в менее жесткой по сравнению с передней, задней бабке станка. Минимальная величина упругих перемещений оси вала имеет место в лимитирующем сечении, расположенном от середины вала в направлении расположения передней бабки станка на расстоянии

$$\left(\frac{x}{l}\right)_0 \text{ от начала обработки (торца заготовки)}$$

$$\left(\frac{x}{l}\right)_0 = \frac{W_{зб}}{W_{зб} + W_{пб}}. \quad (2)$$

Погрешность диаметральных размеров зависит от упругих перемещений оси заготовки относительно вершины резца и равна удвоенной разнице между перемещением Y_{xc} оси вала в рассматриваемом сечении и перемещением Y_{oc} в начале обработки при $x=0$, в котором проводится настройка резца на размер.

$$\Delta D_{\phi} = 2(Y_{xc} - Y_{oc}), \quad (3)$$

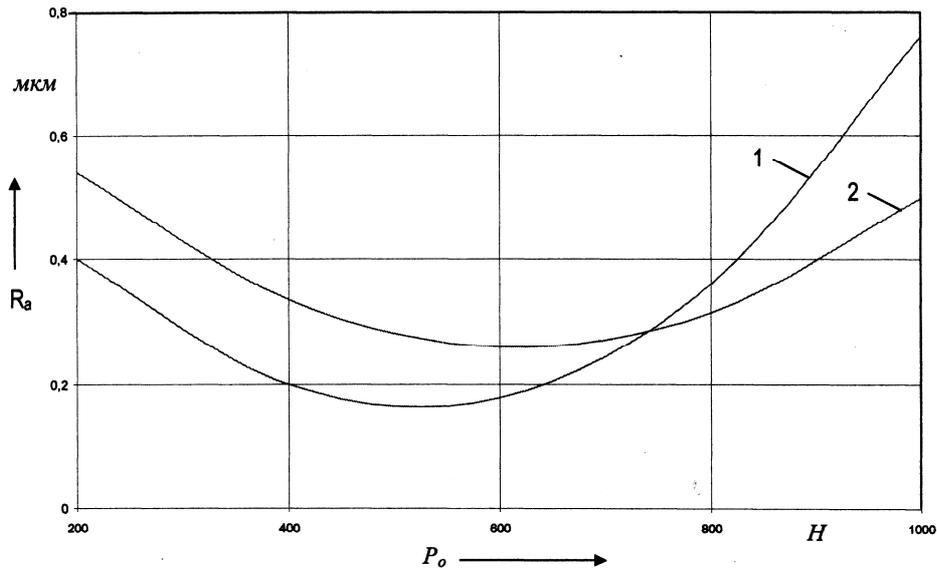


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности от усилия обкатывания при обработке валов резанием с ППД: 1 – точение призматическим резцом и обкатывание роликом; 2 – точение резцом с МОРК и обкатывание роликом; $t = 0,5$ мм, $V = 3,3$ м/с, $S = 0,2$ мм/об

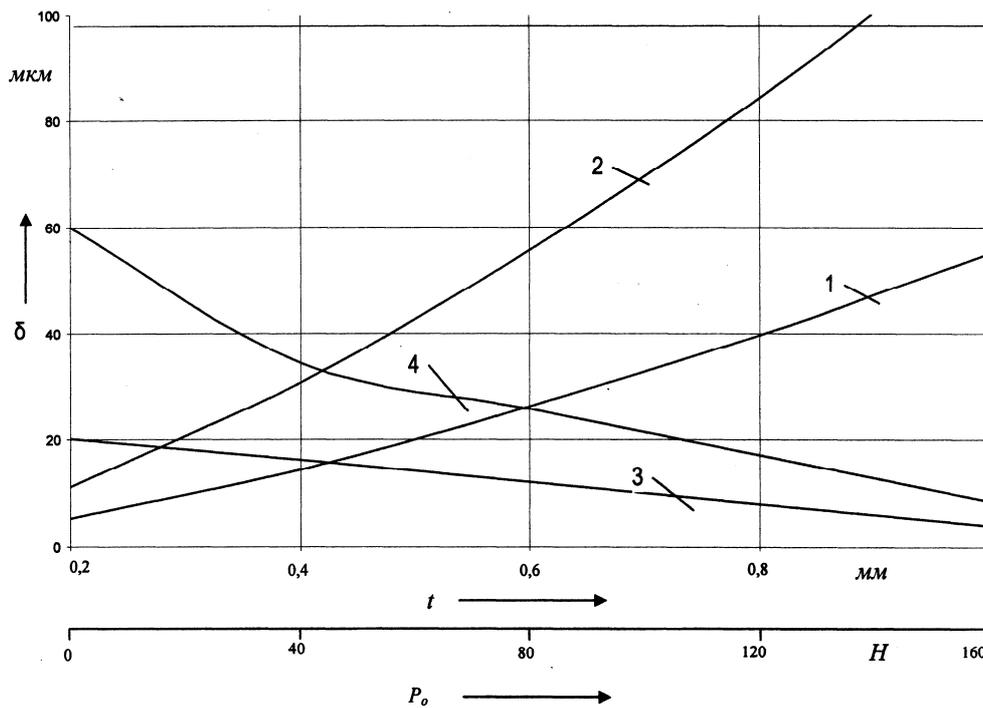


Рис. 4. Влияние глубины резания t (1, 2) и усилия обкатывания ролика P_o (3, 4) на величину допуска δ изготовления вала: $W_p = 0,12$ мкм/Н (1,3), $W_p = 0,3$ мкм/Н (2,4), $W_{зб} = 0,3$ мкм/Н, $W_{пб} = 0,06$ мкм/Н, $S = 0,5$ мм/об, $t = 0,5$ мм, $V = 3,3$ м/с

где

$$Y_{oc} = (P_y - P_o) \cdot W_o,$$

$$W_o = \frac{1}{1/W_{зб} + 1/W_p},$$

где $\Delta D_{ф}$ - погрешность обработки.

Отметим, что Y_{oc} находится из (1) при использовании зависимости

$$\frac{x}{l} = 0.$$

Для определения максимальной погрешности обработки $\Delta D_{ф}^{max}$ необходимо в зависимости (3) учесть разницу величин

упругих перемещений оси вала между максимальным Y_{xc} и минимальным Y_{oc} при $\frac{x}{l} = \left(\frac{x}{l}\right)_0$ перемещениями

$$\Delta D_{ср}^{max} = 2(P_y - P_0) \Delta W, \quad (4)$$

$$\Delta W = \frac{1}{\frac{1}{W_{зб}} + \frac{1}{W_{пб}} + \frac{1}{W_p}} - \frac{1}{\frac{1}{W_{зб}} + \frac{1}{W_p}},$$

где ΔW - разность между податливостью ТС в лимитирующем сечении вала и в начале обработки при $x=0$.

Если максимальную погрешность ограничить допуском δ на изготовление цилиндрической поверхности вала, то получим зависимость, используя которую можно проектировать технологический процесс совмещенной обработки резанием резцом с одновременным обкатыванием роликом, обеспечивая заданную точность,

$$\delta \leq 2(P_y - P_0) \Delta W. \quad (5)$$

Заключение. Анализируя составляющие зависимости (5), можно заключить, что управление точностью осуществляется:

- за счет изменения податливости W_p пружины комбинированного инструмента;
- за счет установления величины усилия P_0 , меняя угол φ установки ролика относительно обрабатываемой поверхности, профильного радиуса r ролика, радиального угла β расположения оси ролика относительно опорной плоскости резца, $\beta \leq \arccos(P_y / P_0)$;
- за счет изменения величины радиальной силы P_y путем выбора параметров режима обработки, устанавливая глубину резания, обеспечивающую необходимую точность обработки (рис. 4). Таким образом, представленные математические зависимости и методика расчета погрешности позволяют осуществить управление точностью, используя для этого оптимизацию режимов резания и параметров совмещенной обработки комбинированным инструментом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шнейдер Ю. Г. Инструмент для обработки металлов давлением / Ю. Г. Шнейдер. – М.: Машиностроение, 1970 – 248 с.
2. Чистосердов П. С. Комбинированные инструменты для отделочно-упрочняющей обработки / П. С. Чистосердов. – Минск: Беларусь, 1977 – 128 с.
3. Шатуров Г. Ф. Прогрессивные процессы механической обработки / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск: Техопринт, 2001 – 460 с.

Материал поступил в редакцию 17.03.08

MROCHEK Zh. A., SHATUROV G.F., ZHOLOBOV A.A., SHATUROV D.G. PROMISING TECHNOLOGY OF COMBINED SHAFT MACHINING AND ROLLING

Combined machining and rolling by a combined tool consisting of two different elements, cutting and rolling ones presupposes their balance as to endurance. The paper analyses the influence of existing cutting tools including highly-enduring tools having microrenewed cutting edge on dependability of the process and the quality of machining.

The problems of accuracy are considered and mathematical dependencies enabling errors in combined machining to be found are given. The ways for accuracy control in shapeforming of shaft surfaces are pointed out.

УДК 621. 941. 1.

Мрочек Ж.А., Шатуров Д.Г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Введение. Управление термической и силовой напряженностью процесса резания можно осуществлять путем предварительного изменения физико-механических свойств срезаемого слоя металла, воздействуя на него поверхностным (ППД) или опережающим (ОПД) пластическим деформированием [1]. Предварительное пластическое деформирование срезаемого слоя металла, как правило, осуществляется обкатыванием роликом как поверхности резания [1], так и необработанной поверхности (авт. св. 933266, СССР; 1673275, СССР) с регулированием глубины и степени пластического деформирования за счет усилия P_d обкатывания. При этом пластическое деформирование поверхности резания может проводиться не по всей ширине срезаемого слоя металла. В последнем случае - это резание с частичным опережающим пластическим деформированием (ЧОПД) (авт. св. 1535672, СССР).

При резании моменту стружкообразования предшествует процесс сжатия полоски металла передней поверхностью перемещающегося относительно заготовки инструмента с последующим сдвигом некоторой ее части по линии наибольших касательных напряжений и отрывом от основы по линии расположения лезвия за счет растягивающих напряжений.

Общие положения. Совершаемая резцом в результате стружкообразования работа A_ϕ по изменению формы отделяемой части полоски металла (увеличение толщины и уменьшение ее длины) может быть оценена зависимостью [3]

$$A_\phi = \frac{1+\mu}{6E} 2\sigma_S^2,$$

где σ_S , E - соответственно предел текучести и модуль упругости материала заготовки; μ - коэффициент Пуассона.

Известно, что согласно энергетическому условию пластичности, переход материала тела из упругого состояния в пластическое происходит при выполнении условия Губера-Мизиса

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_S^2,$$

где σ_1 , σ_2 , σ_3 - главные нормальные напряжения.

В случае предварительного обкатывания роликом поверхности резания и (или) необработанной поверхности в последней создаются остаточные сжимающие (осевые и тангенциальные) и растягивающие напряжения, которые свидетельствуют, согласно теории пластичности металлов, о произведенной работе роликом в результате деформации некоторого объема металла, расположенного на некотором расстоянии от обкатываемой поверхности. В результате пластической деформации поверхности уменьшается запас пластичности и прочности упрочненного металла, происходит его охрупчивание на некоторую глубину от места приложения усилия обкатывания. В процессе формообразования резец в некотором объеме металла, прилегающему к поверхности, создает дополнительное силовое поле из сжимающих и растягивающих напряжений. Это способствует переходу напряженного состояния отделяемого от заготовки элементарного объема металла при стружкообразовании в пластиче-