

УДК 62-97/-98

DOI: 10.30987/article_5b71326d6490e4.35816418

В.Г. Гусев, д.т.н.

(Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

E-mail: prof_gusev@mail.ru

Обработка наплавленных поверхностей режущим инструментом, оснащённым стабилизирующим модулем

Рассмотрена технология механической обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей многолезвийным инструментом, позволяющим уменьшить рабочую нагрузку на податливый режущий инструмент путем передачи ее на виброустойчивую заготовку и снизить тем самым уровень вибрации элементов технологической системы.

Ключевые слова: корпусная деталь; режущий инструмент; наплавленная поверхность; режущий модуль; стабилизирующий модуль; уровень вибрации.

V.G. Gusev, D. Eng.

(Stoletovs State University of Vladimir, 87, Gorky Str., Vladimir, 600000)

Fused coating processing with cutters supplied with stabilizing module

A technology has been considered for fused coating machining for basic parts by multi-edge tools allowing the decrease of a working load upon a compliant cutter by means of its transition to a vibration-proof blank and the decrease, in such a way, a level of elements vibration in a technological system.

Keywords: basic part; cutter; weld surface (fused coating); cutting module; stabilizing module; vibration level.

В процессах механической обработки различных изделий используют технологические системы, элементами которых являются станок, приспособление, инструмент и заготовка. Элементы отличаются друг от друга статическими и динамическими характеристиками и специфически реагируют на действующую на них внешнюю рабочую нагрузку в виде тепловых, силовых и других полей. Элемент, характеризующийся наиболее малыми значениями статической, динамической жесткости, виброустойчивости, инерционной способности и пр., условно назовем «слабым», а максимальными их значениями – «сильным». «Слабый», по сравнению с другими элементами системы, в наибольшей степени реагирует на рабочую нагрузку, например, максимальными упругими деформация-

ми, износом, уровнем вибрации и т.д., в то время как «сильный» элемент характеризуется наименьшими значениями этих параметров.

Особенностью известных способов механической обработки является то, что рабочая нагрузка воспринимается каждым элементом технологической системы в отдельности, т.е. обособленно друг от друга. «Сильный» элемент, обладая значительными потенциальными возможностями принятия на себя дополнительной рабочей нагрузки, никак не участвует в снижении силовой, вибрационной и другой нагрузки «слабого» звена, что является причиной низкой производительности и качества обработанных поверхностей. Режимы резания, определяющие уровень рабочей нагрузки на систему, с целью исключения недопустимых резонансных явлений, определя-

ются в основном «слабым» элементом.

Описанная ситуация существует в процессах механической обработки по сей день несмотря на то, что обработка материалов известна человечеству издревле. Возникает естественный вопрос, а возможно ли построить процесс обработки заготовок таким образом, чтобы «сильный» элемент, вследствие своих высоких статических и динамических характеристик, помог «слабому» путем снятия с последнего части рабочей нагрузки и передачи ее на «сильный» элемент.

В такой постановке вопроса известные технологии механической обработки ранее не рассматривались, что не позволяло существенно повысить эффективность производства. Следует ожидать, что перераспределение рабочей нагрузки между элементами технологической системы обеспечит наибольший эффект при значительном разбросе эксплуатационных показателей различных элементов системы.

Примерами механической обработки, характеризующейся значительным разбросом эксплуатационных характеристик элементов технологической системы, могут служить процессы восстановительного ремонта крупногабаритных заготовок железнодорожных составов. Изношенные поверхности наддресорных балок, рам и других деталей грузовых железнодорожных вагонов подвергаются наплавлению твердым износостойким сплавом. После этого поверхности, подлежащие в дальнейшем механической обработке, имеют значительные неровности, неравномерное распределение припуска, а также высокую твердость поверхностного слоя (400 НВ и более).

При лезвийной обработке протяженных цилиндрических и конических отверстий, например в наддресорных балках, режущий инструмент закрепляется в шпинделе фрезерного станка консольно, что приводит к существенному снижению его радиальной жесткости, не позволяющей назначать повышенные режимы резания. Высокая твердость обрабатываемого материала, стохастическое изменение припуска, как в осевом, так и окружном направлении отверстий, незначительная статическая и динамическая жесткость режущего инструмента – все это серьезно затрудняет процесс обработки и вызывает необходимость использования минимальных режимов резания, допускаемых технической характеристикой станка. Ударный характер работы режущего инструмента является причиной

малого периода стойкости режущего инструмента и большого его расхода в процессе ремонтного восстановления крупногабаритных заготовок [1].

Анализ элементов технологической системы показал, что в условиях ремонтного восстановления крупногабаритных заготовок «слабым» элементом системы является режущий инструмент, а «сильным» – обрабатываемая заготовка, поскольку она характеризуется большими размерами, массой, инерционной способностью и жесткостью практически в любом направлении. Имеет смысл часть рабочей силовой, моментной и вибрационной нагрузки с режущего инструмента передать жесткой, виброустойчивой заготовке, обладающей к тому же значительными диссипативными свойствами, что особо важно для снижения уровня вибрации режущего инструмента.

Повышения виброустойчивости технологической системы, жесткости режущего инструмента и процесса резания в целом без ущерба характеристикам крупногабаритной заготовки можно добиться путем введения в технологическую систему специального конструктивного узла (назовем его стабилизирующим модулем), соединяющего обрабатываемую заготовку с режущим инструментом и реализующего диссипативную и упругую связь между ними. В результате этого режущий инструмент можно рассматривать состоящим из двух модулей: режущего R и стабилизирующего S (рис. 1).

В работе [1] рассмотрена эффективная технология обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей путем рационального размещения твердосплавных режущих пластин в инструменте, что позволило в два раза увеличить ресурс работы пластин. Вместе с этим применение стабилизирующего модуля в [1] не предусмотрено, что не позволяет использовать потенциальные возможности стабилизирующего модуля.

Функцией режущего модуля R является обеспечение процесса резания–трения в заданных границах, функцией стабилизирующего модуля S – компенсация внешних возмущений, создаваемых работой режущего модуля [2, 3]. Цилиндрической ступенью 1 (см. рис. 1) зенкер устанавливают в шпинделе 2 фрезерного станка. На ступени 3 зенкера выполнены стружечные канавки 4 и гнезда 5, в которых расположены опорные 6 и режущие твердосплавные пластины 7, закрепленные в гнездах винтами 8. Опорные пластины 6 имеют мень-

шую твердость по сравнению с твердостью корпуса зенкера и режущих пластин 7 и служат для предохранения корпуса от износа. Стабилизирующий модуль S расположен на цилиндрической ступени 9 зенкера, контактирует с заготовкой 10, выполняя функцию не режущего свойства.

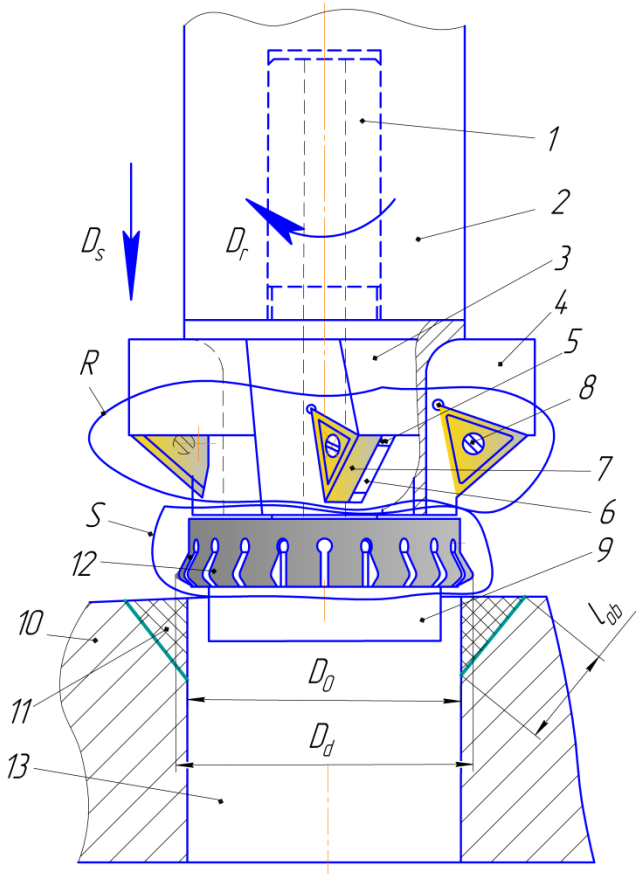


Рис. 1. Инструмент, состоящий из режущего и стабилизирующего модулей, перед началом механической обработки наплавленного конического отверстия

В процессе зенкерования необходимо снять наплавленный твердосплавный материал 11 и получить коническое отверстие требуемых размеров и геометрической формы. Выполнить эту задачу с высокой производительностью можно при одновременном функционировании режущего и стабилизирующего модулей [4, 5].

Под действием рабочих движений зенкера (вращения по стрелке D_r и поступательного перемещения по стрелке D_s) демпфер 12 своими коническими участками давит на верхний торец заготовки 10, при этом его пластины упруго деформируются в направлении к оси вращения инструмента и входят в отверстие 13. Диаметр D_0 отверстия 13 мень-

ше максимального диаметра D_d демпфера 12, поэтому после входа пластин в отверстие возникает натяг между зенкером и заготовкой, в результате чего консольный и податливый зенкер получает дополнительную опору, что повышает его жесткость и виброустойчивость.

Длина l_{ob} образующей линии конического отверстия составляет несколько десятков миллиметров, поэтому его обрабатывают режущими пластинами, длина грани которых больше длины l_{ob} . Известно, что обработка широкими резцами сопровождается высоким уровнем вибрации элементов технологической системы, поэтому при отсутствии стабилизирующего модуля окончательно обработать коническое отверстие с соблюдением заданных геометрических параметров поверхности невозможно. По этой причине в условиях производства используют дополнительную операцию абразивной обработки, что удлиняет технологическую цепочку и приводит к увеличению себестоимости изделия.

При зенкерования конического отверстия стабилизирующий модуль S необходимо располагать впереди режущего модуля R , что обеспечивает при включении рабочих движений вход демпфера 12 в отверстие 13 (см. рис. 1) и последующее стабильное направление режущего инструмента крупногабаритной заготовкой. Получив дополнительную опору со стороны массивной обрабатываемой заготовки, режущий инструмент передает ей вибрацию и эффективно снимает переменный припуск, поскольку возникающие при этом динамические возмущения со стороны режущего модуля компенсируются стабилизирующим модулем.

Технологические сложности возникают также при обработке наплавленного отверстия большой длины инструментом 1, закрепленным в шпинделе 2 (рис. 2).

Функция режущего модуля R реализуется путем контактного взаимодействия круглых режущих пластин 3 с заготовкой 4, расположенных на значительном расстоянии l_r от торца 5 шпинделя 2. Поэтому даже незначительное изменение силы резания вызывает большой изгибающий момент, действующий на инструмент, что вызывает при отсутствии стабилизирующего модуля и снятии переменного и твердого припуска высокий уровень вибрации технологической системы.

Повысить эффективность механической обработки цилиндрического наплавленного отверстия также можно путем использования стабилизирующего модуля S . Первым в кон-

такт с заготовкой вступает режущий модуль, который в результате снятия припуска формирует сравнительно точную цилиндрическую поверхность небольшой длины (3...5 мм). Затем в обработанный участок отверстия входит стабилизирующий модуль, при этом создается натяг между обработанным участком отверстия и демпфером и обеспечивается направление режущего инструмента крупногабаритной заготовкой. Далее зенкерование наплавленного отверстия по всей длине осуществляется при функционировании стабилизирующего модуля.

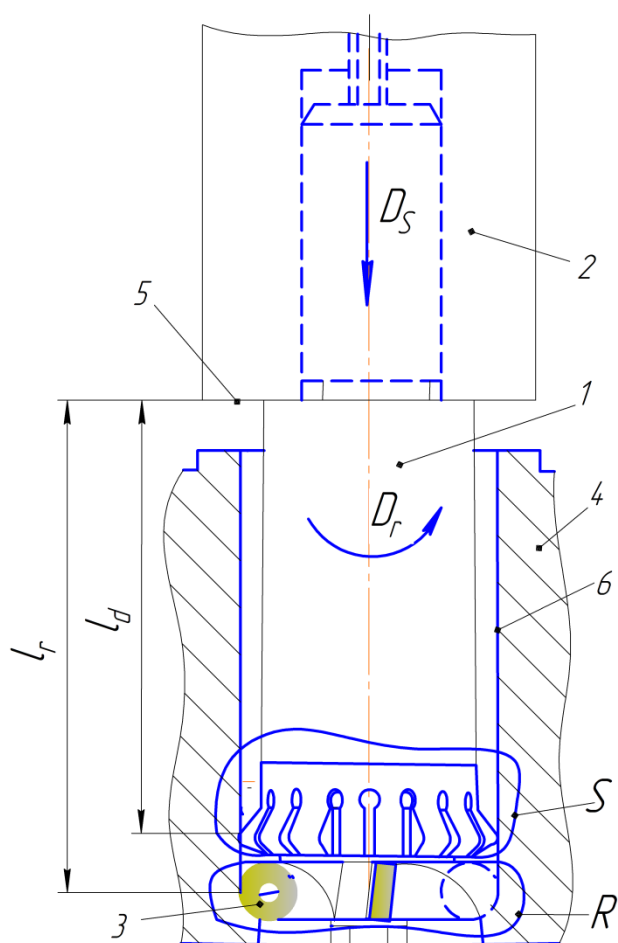


Рис. 2. Пространственное положение режущего и стабилизирующего модулей при обработке протяженного наплавленного отверстия

Из сказанного выше следует, что при обработке наплавленного цилиндрического отверстия стабилизирующий модуль следует располагать после режущего модуля на самом близком от него расстоянии, т.е. в процессе конструкторской разработки инструмента разность расстояний ($l_r - l_d$) режущего и стабилизирующего модуля от торца 5 шпинделя 2 должно быть минимально воз-

можным (см. рис. 2).

Для компенсации внешних возмущений инструмента, вызванных работой режущего модуля, разработана конструкция стабилизирующего модуля [2] и исследован механизм его функционирования, что позволяет в наибольшей степени снизить динамику технологической системы при лезвийной обработке наплавленных поверхностей. Стабилизирующий модуль состоит из шарикоподшипника 1 (рис. 3), внутреннее кольцо 2 которого напрессовано на цилиндрическую шейку 3 корпуса 4 и зафиксировано стопорным кольцом 5.

На наружное кольцо 6 подшипника 1 установлен демпфер колебаний 7, внутренняя полость которого заполнена амортизирующим материалом 8, например, вулканизированной резиной, что позволяет компенсировать не только виброперемещения инструмента, но и виброскорость. Наружная поверхность демпфера 7 выполнена профильной и разрезана в осевом направлении с образованием упругих пластин 9. Демпфер 7 закрыт крышкой 10, которая стягивается с ним винтами 11.

Круглые твердосплавные режущие пластины 12 (см. рис. 3) контактируют с заготовкой 13, обрабатывая отверстие 14. Вследствие разброса твердости и величины снимаемого припуска глубина резания, например, при обработке отверстия режущей пластиной 12 больше, чем при обработке диаметрально расположенной пластиной. В этом случае сила резания $P_1 > P_2$, а угол наклона δ_1 силы P_1 к оси инструмента отличается от угла наклона δ_2 силы P_2 .

Выбрав систему координат XOZ , спроектировав на оси X и Z силы резания, действующие на инструмент, получим:

$$\Sigma X = P_{x1} - P_{x2} = P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2, \quad (1)$$

$$\Sigma Z = P_{z1} + P_{z2} = P_1 \cos \delta_1 + P_2 \cos \delta_2, \quad (2)$$

где P_{x1}, P_{x2} – горизонтальная составляющая силы резания P_1 и P_2 соответственно; P_{z1}, P_{z2} – вертикальная составляющая силы резания P_1 и P_2 соответственно.

Согласно уравнению (1) $\Sigma X > 0$ причем, чем больше разность глубины резания при работе пластины 12 и диаметрально противоположной пластины, тем больше изгибающий момент, действующий на инструмент.

Ранее отмечалось, что при входе упругих пластин 9 в отверстие 14 (см. рис. 3) возникает натяг, который вызывает силовое взаимодействие пластин и обрабатываемой заготовки, при этом с увеличением натяга сила взаимодействия возрастает. Поскольку демпфер 7

сцентрирован на корпусе 4 инструмента с высокой точностью, то при отсутствии процесса резания силовое воздействие заготовки на ка-

ждую из пластин 9, расположенных по окружности отверстия 14, можно считать одинаковым.

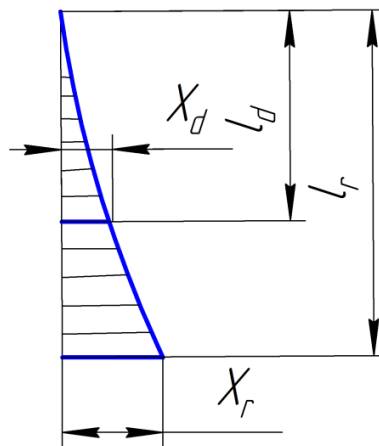
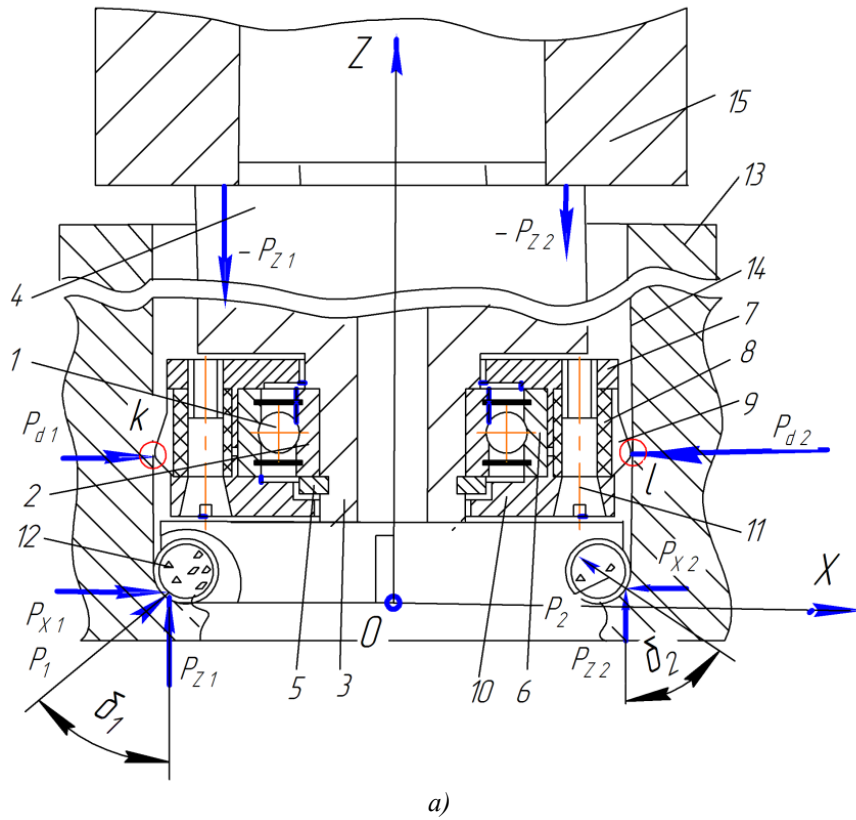


Рис. 3. Устройство стабилизирующего модуля (а) и упругие перемещения (б) оси инструмента при работе режущего модуля R

В процессе резания возникает разность сил ($P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2$) и упругие перемещения оси инструмента, в результате чего натяг в точке k (рис. 3, *a*) между упругой пластиной и обработанным отверстием 14 уменьшается, а в точке l – увеличивается. Максимальное значение упругих перемещений оси инструмента под действием силы резания ΣX определяется по формуле (рис. 3, *b*):

$$X_r = \frac{(P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2) \cdot l_r^3}{3EI}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала корпуса режущего инструмента; $I = \frac{\pi D_{pr}^4}{64}$ – приведенный момент инерции поперечного сечения корпуса режущего инструмента; D_{pr} – приведенный диаметр корпуса режущего инструмента.

Значение упругих перемещений оси инструмента в поперечной плоскости, проходящей через точки k и l , равно

$$X_d = \frac{P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2}{3EI} \cdot l_r^2 \cdot l_d. \quad (4)$$

Упругие перемещения X_d оси инструмента приводят к изменению упругих перемещений пластин 9 : в точке k они уменьшаются на величину X_d , а в точке l возрастают на эту же величину. Исходные упругие перемещения пластин 9 (при отсутствии процесса резания) равны

$$X_u = \frac{(D_d - D_o)}{2}, \quad (5)$$

где D_d, D_o – максимальный диаметр демпфера 12 и диаметр отверстия 13 (см. рис. 1).

В результате изгиба оси инструмента фактические упругие перемещения пластины в точке k становятся равными

$$X_{fk} = \frac{3EI \cdot (D_d - D_o) - 2(P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2) \cdot l_r^2 \cdot l_d}{6EI}. \quad (6)$$

В точке l фактические упругие перемещения пластины равны:

$$X_{fl} = \frac{3EI \cdot (D_d - D_o) + 2(P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2) \cdot l_r^2 \cdot l_d}{6EI}. \quad (7)$$

Силы, с которыми крупногабаритная заготовка действует через упругие пластины на режущий инструмент в точках k и l , соответственно равны

$$P_k = X_{fk} \cdot J_p, \quad (8)$$

$$P_l = X_{fl} \cdot J_p, \quad (9)$$

где J_p – радиальная жесткость пластины 9 демпфера 7 (см. рис. 3).

Из (8) и (9) следует, что силой закрепления нижней части режущего инструмента с помощью заготовки можно управлять, при этом для повышения силы необходимо увеличивать натяг в сопряжении «заготовка – пластины», а также увеличивать жесткость самих пластин.

Сила, компенсирующая появившуюся динамическую нагрузку от режущего модуля, определяется по формуле

$$\begin{aligned} \Delta P_d &= (P_{d2} - P_{d1}) = (X_{fl} - X_{fk}) \cdot J_p = \\ &= \frac{2(P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2) \cdot l_r^2 \cdot l_d}{3EI} \cdot J_p. \end{aligned} \quad (10)$$

Полная компенсация силы ΣX , действующей на режущий инструмент, обеспечивается при выполнении равенства:

$$\Delta P_d = \Sigma X \quad (11)$$

или

$$\frac{2 \cdot l_r^2 \cdot l_d}{3EI} J_p = 1. \quad (12)$$

Из (12) находим значение радиальной жесткости, которой должна обладать упругая пластина 9 демпфера 7 (см. рис. 3, *a*), чтобы компенсировать силу ΣX :

$$J_p = 1,5 \frac{EI}{l_r^2 \cdot l_d}. \quad (13)$$

Формулы (1) – (13) позволяют решить плоскую задачу компенсации переменной динамической нагрузки на инструмент, возникающей при работе режущего модуля. Для решения пространственной задачи необходимо учесть перемещения всех упругих пластин 9 , контактирующих по окружности с обработанным отверстием 14 заготовки.

Итак, упругие перемещения оси режущего инструмента вправо на величину X_r (см. рис. 3, *b*) вызывает возрастание перемещений упругих пластин 9 в правой половине стабилизирующего модуля и уменьшение таковых в левой половине на величину X_d , что приводит к изменению упругодемпфирующих сил, действующих в стыке «заготовка – пластины». Заготовка увеличивает свое силовое давление на правую половину зенкера и уменьшает – на левую, в результате чего сила P_{d2} становится

больше силы P_{d1} (при отсутствии резания эти силы были равными).

Мгновенное и автоматическое изменение упругодемпфирующих сил в стабилизирующем модуле S (см. рис. 2) при нарушении равенства элементарных сил в режущем модуле R вызывает стабилизацию пространственного положения зенкера относительно обработанной поверхности.

Кроме силы $\Sigma X = (P_1 \sin \delta_1 - P_2 \sin \delta_2)$, на режущий инструмент действует также суммарная сила $\Sigma Z = (P_1 \cos \delta_1 + P_2 \cos \delta_2)$ в направлении оси Z , которая сжимает инструмент в осевом направлении и прижимает его к торцу шпинделя 5. Появляется реакция шпинделя в виде сил $-P_{z1}$ и $-P_{z2}$, которые компенсируют силы $P_1 \cos \delta_1$ и $P_2 \cos \delta_2$. Поскольку осевая жесткость шпинделя значительно больше радиальной жесткости зенкера, а сами силы P_{z1} и P_{z2} имеют сравнительно малое плечо, равное радиусу режущего модуля, то упругими перемещениями оси зенкера, вызванными действием сил P_{z1} и P_{z2} , можно пренебречь.

Таким образом, любое нарушение равенства суммы элементарных радиальных сил в режущем модуле мгновенно и автоматически приводит к появлению упругодемпфирующих сил в стабилизирующем модуле, противоположно направленным силам резания. Стабилизирующий модуль автоматически компенсирует внешние динамические возмущения, генерируемые режущим модулем зенкера, успокаивая тем самым технологическую систему.

Рассмотренное контактное взаимодействие режущего и стабилизирующего модулей инструмента с заготовкой иллюстрирует конкретный пример лезвийной обработки внутренних цилиндрических поверхностей, при этом открываются новые области исследований, направленных на повышение эффективности процессов механической обработки плоскостей и наружных поверхностей вращения.

Зенкер, реализующий контактное взаимодействие с заготовкой режущего и стабилизирующего модулей, изготовлен и испытан в условиях производства. На фрезерном станке ФБ-01 обрабатывали коническое отверстие надрессорной балки грузовых железнодорожных вагонов, наплавленное твердым сплавом. Использовали зенкер, обеспечивающий функционирование режущего модуля (первый вариант) и зенкер, реализующий одновременную работу режущего и стабилизирующего модулей (второй вариант). Оба зенкера оснащали

многогранными непереключаемыми пластинами одинакового материала и размеров.

Испытания показали, что при первом варианте зенкер обеспечивал лишь частичное снятие наплавленного припуска, при этом по мере увеличения длины контакта режущих пластин с заготовкой уровень вибрации технологической системы возрастал на столько, что процесс обработки вынужденно прекращали из-за опасения разрушения режущих пластин под действием экстремальных условий резания.

Обработка наплавленного конического отверстия надрессорной балки по второму варианту протекала спокойно с относительно малой скоростью возрастания уровня вибрации технологической системы, при этом инструмент снимал весь припуск с обеспечением требуемого качества обработанной поверхности.

Таким образом, разработка и практическая реализация режущего инструмента, оснащенного стабилизирующим модулем, открывает новые направления повышения производительности, качества обработанных поверхностей, а также ресурса работы режущего инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев, В.Г. Эффективная технология обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей // *Научные технологии в машиностроении*. – 2018. – № 2(80). – С. 14 – 19.
2. Пат. №2457926 РФ, МПК В23В 29/034. Режущий инструмент / Гусев В.Г., Селиванов А.М., Швагирев П.С.; заявл. 08.04.2011, опубл. 10.08.2012. Бюл. № 22.
3. Пат. 2615965 РФ, МПК В21В 21/00. Комбинированный виброустойчивый инструмент / Гусев В.Г., Селиванов А.М.; заявл. 19.10.2015, опубл. 11.04.2017. Бюл. № 11.
4. Гусев, В.Г., Селиванов А.М. Режущий инструмент для восстановительной обработки отверстий с неравномерным припуском: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Современные материалы, техника и технология»; – Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 99–101. ISBN 978-5-905556-05-0.
5. Гусев, В.Г., Лазарев, А.В., Селиванов, А.М. Моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерообразовании отверстия в программе COSMOS WORKS // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2012. – № 2-6 (292). – С. 86–91.

REFERENCES

1. Gusev, V.G. Effective technology for basic parts weld surface // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.2 (80). – pp. 14-19.

2. Pat. No.2457926 RF, IPC V23V 29/034. Cutter / Gusev V.G., Selivanov A.M., Shvagirev P.S.; applied 08.04.2011, published 10.08.2012. *Bull. No.22.*

3. Pat. 2615965 RF, IPC V21V 21/00. Combined Shake-Proof Tool / Gusev V.G., Selivanov A.M.; applied 19.10.2015, published 11.04.2017. *Bull. No.11.*

4. Gusev, V.G., Selivanov, A.M. Cutter for reparative processing openings with uneven allowance: *Proceedings of the Inter. Scientific Pract. Conf. "Modern Materials, Engi-*

neering and Technology"; - Kursk: SWSU, 2011. – pp. 99-101. ISBN 978-5-905556-05-0.

5. Gusev, V.G., Lazarev, A.V., Selivanov, A.M. Elastic displacement simulation of cutter plates at hole countersinking in COSMOS WORKS program // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology.* – 2012. – No.2-6 (292). – pp. 86-91.

Рецензент д.т.н. В.И. Денисенко

УДК 621.9.048.6+669.539.6:621.81.01
DOI: 10.30987/article_5b71326dab0078.99480322

А.А. Маликов, д.т.н.

А.В. Сидоркин, к.т.н.

С.Л. Рахметов, аспирант

(Тулский государственный университет, 300012 г. Тула, пр. Ленина, 92)

E-mail: andrej-malikov@yandex.ru

Определение механизма параметрической взаимосвязи диаметра шевера-прикатника с диаметром обрабатываемого им цилиндрического колеса с круговым зубом

Приводится описание алгоритма расчета и синтеза станочного зацепления шевера-прикатника с цилиндрическим колесом с круговыми зубьями (ЦККЗ) для определения рационального диаметра инструмента по отношению к диаметру обрабатываемого им колеса. Представлена математическая интерпретация условий, ограничивающих существование станочного зацепления инструмент-заготовка.

Ключевые слова: шевер-прикатник; круговые зубья; цилиндрические зубчатые колеса; диаметр вершин; радиус кривизны арки зуба; внеполюсное зацепление.

A.A. Malikov, D. Eng.,

A.V. Sidorkin, Can. Eng.,

S.L. Rakhmetov, Post graduate student

(Tula State University, 92, Lenin Avenue, Tula, 300012)

Definition of parametric correlation mechanism of shaver-roller diameter with diameter of cylindrical wheel with circular tooth worked by it

A description of the algorithm for computation and synthesis of a shaver-roller machine engagement with a cylindrical cog-wheel with circular teeth (CCCT) for the definition of a tool rational diameter with respect to the diameter of the wheel worked by it is shown.

A mathematical interpretation of conditions limiting the tool-blank machine engagement presence is presented.

Keywords: shaver-roller; circular teeth; cylindrical cog-wheels; top diameters; tooth arch curvature diameter; off-pole mesh.

Для передачи крутящего момента в зубчатых передачах, наравне с цилиндрическими прямозубыми колесами, могут быть успешно использованы цилиндрические колеса с кру-

говыми зубьями (ЦККЗ), которые, в свою очередь, за счет особенности конструкции зубьев, обладают большей плавностью хода, грузонесущей способностью, лучшими массогабарит-