

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжов, Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: монография. – Киев: Наук. думка, 1984. – 272 с.
2. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей: монография. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
3. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин: монография. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. Суслов, А.Г., Дальский, А.М. Научные основы технологии машиностроения: научная монография. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
5. Суслов, А.Г., Горленко, О.А. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин: монография. М.: Машиностроение-1, 2003. – 303 с.
6. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985. – 496 с.

REFERENCES

1. Ryzhov, E.V. *Technological Methods for Wear-resistance Increase in Machine Parts*: monograph. – Kiev: Scientific Thought, 1984. – pp. 272.
2. Suslov, A.G. *Technological Support of State Parameters in Surface Layer of Parts*: monograph. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – pp. 208.
3. Suslov, A.G. *Quality of Surface Layer in Machine Parts*: monograph. – M.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 320.
4. Suslov, A.G., Dalsky, A.M. *Scientific Fundamentals of Engineering Techniques*: scientific monograph. – M.: Mechanical Engineering, 2002. – pp. 684.
5. Suslov, A.G., Gorlenko, O.A. *Experimental Statistical Method in Assurance of Surface Quality in Machine Parts*: monograph. M.: Mechanical Engineering-1, 2003. – pp. 303.
6. Matalin, A.A. *Engineering Techniques*: textbook for engineering colleges. – L.: Mechanical Engineering, Leningrad Branch, 1985. – pp. 496.

Рецензент д.т.н. С.Г. Бишутин

УДК 62-97/-98

DOI: 10.12737/article_5a70c104131317.37567110

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

Эффективная технология обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей

Проанализирована известная технология механической обработки наплавленных поверхностей корпусных деталей грузовых железнодорожных вагонов. Вскрыты и устранены её недостатки путем разработки технологии, основанной на применении высокоэффективного комбинированного режущего инструмента. Комбинированные режущие инструменты обеспечивают высокопроизводительную механическую обработку наплавленных поверхностей за один рабочий ход, а нулевые задние углы увеличивают ресурс работы дорогих твердосплавных пластин в два раза. Режущие инструменты испытаны в процессе механической обработки названных поверхностей, что подтвердило их высокую эффективность.

Ключевые слова: механическая обработка; корпусная деталь; наплавленная поверхность; комбинированный режущий инструмент; производительность.

V.G. Gusev, D. Eng.

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

Efficient technology for processing weld surfaces in case parts

A well-known technology of machining weld surfaces in case parts of freight cars is analyzed. Its drawbacks are defined and eliminated by means of the development of techniques based on the use of high-capacity combined cutters. Combined cutters ensure a high-capacity machining of weld surfaces during one travel and zero back angles increase expensive hard-alloy plate life by a factor of two. Cutters are tested in the course of mentioned surface machining which confirmed their high efficiency.

Keywords: machining; case part; weld surface; combined cutter; productivity.

Корпусные детали грузовых железнодорожных вагонов (надрессорные балки, боковые рамы и др.) являются крупногабаритными, поэтому по экономическим причинам после износа несущих (рабочих) поверхностей их не заменяют на новые, а подвергают восстановлению. Основными технологическими операциями ремонтного восстановления крупногабаритных деталей являются наплавка изношенных поверхностей и последующая их механическая обработка, в результате чего несущие поверхности приобретают требуемые размеры и качество, что позволяет восстановленным деталям в дальнейшем выполнять своё служебное назначение.

Для обеспечения высокой износостойкости несущие поверхности крупногабаритных деталей наплавляют твердым сплавом, в результате чего припуск, подлежащий снятию лезвийными инструментами, характеризуется высокой твердостью (310...410 НВ) и стохастическим изменением величины (до 5 мм) как в осевом, так и окружном направлении.

Механическая обработка таких поверхностей вызывает серьезные трудности, поскольку исходные геометрические погрешности заготовок, перманентное изменение толщины срезаемого слоя и твердости материала приводят к экстремальным условиям резания, при которых возникают резонансные явления и значительно снижается виброустойчивость технологической системы [1].

Ситуация усугубляется тем, что в процессе обработки нестабильных по форме, исходной геометрии и твердости поверхностных слоев, используют устаревший режущий инструмент, который представляет собой металлическую пластину с двумя напаянными на нее твердосплавными режущими пластинами и который предназначен для дифференцированной обработки, например, лишь одной цилиндрической или плоской поверхности. Так, для обработки наплавленного отверстия под шкворневой палец надрессорных балок грузовых железнодорожных вагонов и прилегающего к отверстию торца бурта используют два режущих инструмента.

Ударный характер работы инструмента вызывает интенсивную вибрацию элементов системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка», которая приводит к необходимости назначения минимально возможного режима резания, допускаемого станком.

Частая смена инструментов при переходе

от обработки отверстия к торцу бурта и обратно, необходимость переточки изношенных напаянных твердосплавных пластин и настройки режущего инструмента на размер приводят к существенному увеличению вспомогательного времени на технологическую операцию, а минимальные режимы резания – к возрастанию машинного времени на обработку. Кроме этого, в условиях экстремально-го резания не обеспечивается требуемая микрогеометрия обработанных поверхностей, поэтому в действующем производстве используется дополнительная операция абразивной обработки.

Таким образом, известная технология механической обработки наплавленных поверхностей крупногабаритных деталей является крайне неэффективной и характеризуется большим расходом режущего инструмента, низкой производительностью, качеством обработанных поверхностей и высокой технологической себестоимостью процесса обработки.

Устранение отмеченных недостатков возможно путем разработки эффективной технологии, основанной на использовании комбинированных режущих зенкеров, оснащенных многогранными неперетачиваемыми твердосплавными режущими пластинами с износостойкими покрытиями. Во Владимирском государственном университете разработаны конструкции зенкеров для механической обработки конического, цилиндрического отверстия под шкворневой палец, одновременной обработки цилиндрического отверстия и торца бурта надрессорных балок. Одновременная обработка названных наплавленных поверхностей выполняется за один рабочий ход инструмента, что позволяет существенно сократить машинное время на выполнение технологической операции.

Комбинированный зенкер для обработки наплавленного цилиндрического и конического отверстий надрессорной балки [2, 3] состоит из корпуса, цилиндрическая ступень 1 (рис. 1) которого служит для базирования его в шпинделе станка, и ступени 2, в которой профрезерованы стружечные канавки 3 и гнезда для размещения твердосплавных многогранных неперетачиваемых пластин 4, закрепляемых в гнездах, например, винтами 5. Для предохранения корпуса от износа в гнезда устанавливают опорные пластины 6, твердость которых меньше твердости корпуса.

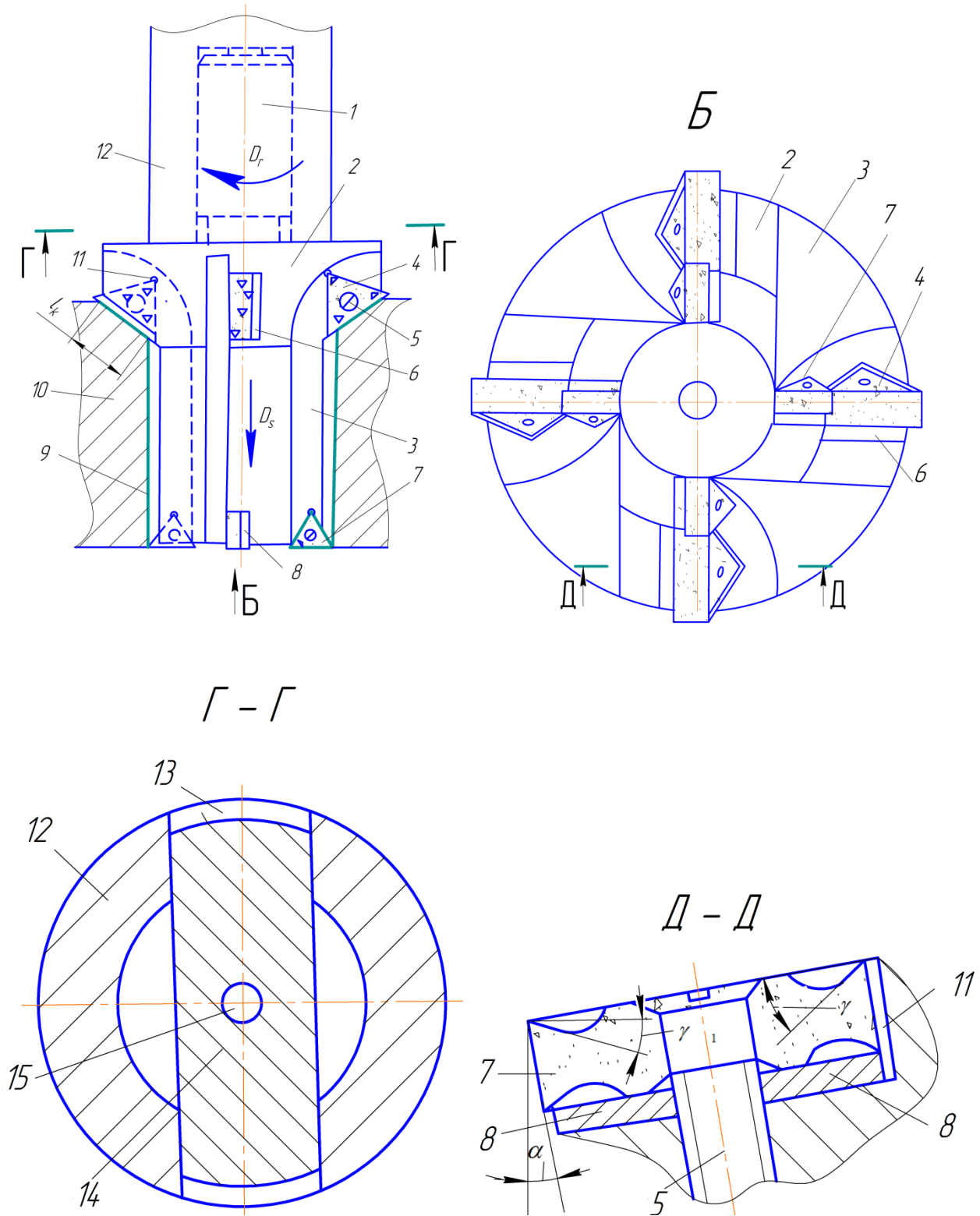


Рис. 1. Конструкция комбинированного зенкера и схема обработки наплавленных поверхностей:

1 – ступень для базирования зенкера в шпинделе; 2 – ступень со стружечными канавками; 3 – стружечная канавка; 4 и 7 – режущие пластины; 5 – винт; 6, 8 – опорные пластины; 9 – обрабатываемое отверстие; 10 – заготовка; 11 – малое отверстие; 12 – шпиндель; 13 – паз; 14 – пластина; 15 – центральное отверстие

В области нижнего торца корпуса расположен ряд режущих пластин 7, установленных на опорные пластины 8 и предназначенных для обработки отверстия 9 заготовки 10. Для исключения контакта вершин режущих пластин 4 и 7 с корпусом зенкера и сколов вершин, вызванных таким контактом, просверлены отверстия 11 диаметром 1,5...2,0 мм.

Общее число режущих пластин 4 и 7 в инструменте составляет от 8 до 12 (рис. 1, вид Б) в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия.

Поэтому в процессе работы возникают значительные силы и моменты резания, для преодоления которых со стороны торца шпинделя 12 профрезерованы пазы 13 (рис. 1, сечение Г-Г), а на верхнем торце корпуса зенкера – двухсторонние лыски. В результате этого на торце корпуса образуется пластина 14, которая сопрягается с пазами 13 шпинделя и обеспечивает передачу инструменту больших сил и крутящих моментов от привода главного движения станка. Центральное отверстие 15, выполненное на всей длине зенкера, служит для размещения болта крепления инструмента в шпинделе 12 станка.

Многогранные режущие пластины 4 и 7 изготавливают с задним углом $\alpha > 0$ или $\alpha = 0$. Угол $\alpha > 0$ исключает интенсивное трение режущей пластины об обрабатываемый материал по задней ее поверхности, чего нельзя сказать об угле $\alpha = 0$. Однако положительный задний угол не позволяет использовать режущие пластины с обеих сторон, что является основным недостатком пластин с углом $\alpha > 0$.

Режущие пластины с нулевыми задними углами можно использовать с двух сторон, при этом увеличивается число режущих лезвий, а, следовательно, и ресурс работы пластин в два раза. По этой причине в зенкере использованы многогранные неперетачиваемые пластины со статическими задними углами, равными нулю.

Задние углы можно создать в процессе резания, но для этого необходимо наклонить режущую пластину так, чтобы между ее задней поверхностью и плоскостью резания возникал динамический задний угол α (рис. 1, сечение Д-Д). Наклонять режущие пластины следует в двух плоскостях, при этом необходимо наклонно выполнить также и гнезда корпуса инструмента, что усложняет его конструкцию.

Но, благодаря появлению современного многофункционального оборудования с числовым программным управлением, изготовление корпуса с наклонными в двух плоскостях гнездами не представляет серьезной технологической проблемы. Достаточно предусмотреть в управляющей программе обрабатывающего центра с ЧПУ поворот заготовки на требуемый угол относительно осей А и В [4 – 6].

Образование заднего угла путем наклона режущей пластины приводит к уменьшению динамического переднего угла до значения $\gamma_1 = \gamma - \alpha$. Угол наклона режущей пластины равен заднему углу α . В этой связи выбор режущих пластин с нулевыми статическими задними углами возможен, например, при значении статического переднего угла $\gamma = 8... 12^\circ$. В этом случае динамический задний угол можно назначить в пределах $5... 7^\circ$, а передний динамический угол γ_1 – в пределах $4... 7^\circ$.

В процессе проектирования комбинированного зенкера проведено моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерении наплавленного отверстия в программе Cosmos Works [7], в результате чего установлены незначительные их деформации, что положительно отражается на геометрической точности обработанных поверхностей.

Проанализируем основное и вспомогательное время, связанное с механической обработкой наплавленных поверхностей надressорных балок по известной технологии и технологии, основанной на использовании разработанного комбинированного зенкера для условий серийного ремонтного производства. Будем рассматривать лишь изменяющиеся статьи затрат штучно-калькуляционного времени на выполнение, например, операции обработки цилиндрического и конического отверстий надressорной балки.

Основное время на выполнение указанной технологической операции по известной технологии определяется по формуле

$$T_{O1} = \frac{l_O}{n_O S_{O1}} + \frac{l_t}{n_t S_t} = \frac{l_{O1} + l_{O2} + l_{O3}}{n_O S_O} + \frac{l_{t1} + l_{t2}}{n_t S_t}, \quad (1)$$

где l_O, l_t – длина резания при обработке цилиндрического и конического отверстия соответственно; n_O, S_{O1}, n_t, S_t – частота

вращения и вертикальная подача режущего инструмента при обработке цилиндрического и конического отверстия соответственно; l_{O1} , l_{O2} , l_{O3} – длина врезания, обрабатываемой поверхности и перебега при обработке цилиндрического отверстия соответственно; l_{t1} , l_{t2} – длина врезания и толщина припуска в осевом направлении, подлежащая снятию, с целью получения требуемого размера конического отверстия соответственно.

Основное время при использовании технологии обработки комбинированным зенкером определяется по формуле

$$T_{O2} = \frac{l_O}{n_O S_{O2}} = \frac{l_{O1} + l_{O2} + l_{O3}}{n_O S_{O2}}, \quad (2)$$

где S_{O2} – вертикальная подача комбинированного зенкера при обработке цилиндрического отверстия.

В начале цикла обработки цилиндрического и конического отверстий комбинированным зенкером в работу вступают режущие пластины 7 (см. рис. 1), которые снимают припуск почти на всей длине отверстия. Когда до полного окончания обработки отверстия остается длина перемещения режущих пластин 7, равная ходу инструмента, обеспечивающему обработку конического отверстия, в работу вступают режущие пластины 4. Обработка цилиндрического и конического отверстий заканчивается одновременно в момент выхода режущих пластин 7 из цилиндрического отверстия, в это время режущие пластины 4 занимают по высоте положение, соответствующее заданным размерам конического отверстия.

Сравнение равенств (1) и (2) показывает, что обработка наплавленных поверхностей по предложенной технологии позволяет уменьшить основное (машинное) время, вследствие совмещения обработки цилиндрического и конического отверстий, а также более высокой вертикальной подачи инструмента.

Поскольку обработка комбинированным зенкером происходит за один рабочий ход, то член $\frac{l_t}{n_t S_t}$ в уравнении (2) отсутствует, что свидетельствует об уменьшении основного времени на обработку по предложенной технологии. Кроме этого, комбинированный инструмент имеет больше режущих пластин, поэтому при одинаковой вертикальной подаче на зуб S_z минутная подача предложенного

зенкера будет больше в Z_2/Z_1 раз (Z_1 , Z_2 – число режущих пластин в известном и комбинированном инструменте), что также способствует сокращению основного времени, а, следовательно, повышению производительности обработки.

Вспомогательное время для сравниваемых вариантов, связанное с использованием режущего инструмента, также существенно отличается друг от друга. Для реализации известной технологии обработки цилиндрического и конического отверстий необходимо иметь два режущих инструмента, каждый из которых подлежит установке и закреплению в шпинделе станка, настройке на заданный режим резания и выполняемый размер. После обработки цилиндрического отверстия инструмент заменяют на инструмент для обработки конического отверстия, что также требует затрат вспомогательного времени.

При обработке наплавленного твердого сплава происходит размерный износ режущих пластин, при этом инструмент с напаянными пластинами, применяемый в условиях производства, необходимо затачивать.

При обработке по предложенной технологии замена изношенных режущих лезвий сводится к элементарным действиям рабочего: вывернуть винты, повернуть каждую из режущих пластин на угол $\beta = 360^\circ/k$ (k – число режущих лезвий, расположенных на одной стороне твердосплавной пластины) и вновь ввернуть винты, при этом не требуется их переточка.

Вспомогательное время на выполнение указанных приемов работы по предложенной технологии значительно меньше времени на переточку напаянных режущих пластин, закрепление инструмента в шпинделе станка и настройку его на заданный размер.

Оперативное время, равное сумме основного и вспомогательного времени, также меньше при использовании предложенной технологии механической обработки наплавленных отверстий надрессорных балок. Следует учесть, что ресурс работы напаянных режущих пластин значительно меньше по сравнению с ресурсом быстросменных пластин, в особенности при двухстороннем использовании пластин с нулевыми задними углами.

Из сказанного выше следует, что штучно-калькуляционное время на выполнение технологической операции механической обработки наплавленных отверстий надрессорных балок существенно меньше при

использовании предложенной технологии и комбинированного режущего инструмента.

Спроектированные комбинированные зенкеры для одновременной обработки цилиндрического и конического отверстий (рис. 2) и обработки цилиндрического отверстия и торцев бурта (рис. 3) были изготовлены и испытаны в условиях Владимирского вагонного депо и НПО «Экспериментальный завод» г. Реж Свердловской области.



Рис. 2. Реальная модель комбинированного зенкера для обработки цилиндрического и конического отверстий

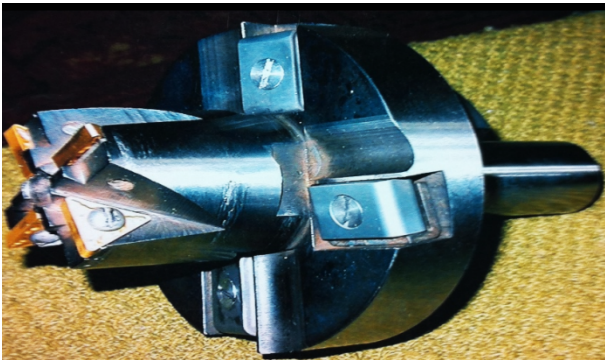


Рис. 3. Реальная модель комбинированного зенкера для обработки цилиндрического отверстия и торца бурта надрессорной балки

Обрабатывали на станке ФБ-01 наплавленное цилиндрическое отверстие и торец бурта двумя пластинчатыми зенкерами с напаянными твердосплавными пластинами и разработанным комбинированным зенкером (см. рис. 3). Использовали треугольные режущие пластины *TNMG 16-04-16 MR* фирмы *Sandvik Coromant* и отечественные призматические твердосплавные пластины *T5K10*. Общее число режущих пластин – 8, четыре из которых использовали для зенкерования цилиндрического отверстия диаметром 55 мм, оставшиеся 4 – для подрезания торца бурта. Режим резания: частота вращения зенкера 500 мин^{-1} , верти-

кальная подача варьировалась в пределах $(0,1 \dots 0,5) \text{ мм/об}$.

Обработка наплавленных поверхностей отверстия (рис. 4) показала, что максимальная вертикальная подача, допускаемая зенкером, применяемым в условиях производства, составила $0,15 \text{ мм/об}$. Комбинированным зенкером было обработано 22 надрессорных балки при вертикальной подаче $0,50 \text{ мм/об}$. Качество обработанных поверхностей бурта и отверстия комбинированным зенкером соответствовало технологическим требованиям, вследствие чего дополнительная механическая обработка абразивным инструментом не потребовалась.



Рис. 4. Комбинированный зенкер в процессе работы

Двухстороннее использование многогранных неперетачиваемых пластин обеспечило увеличение ресурса работы комбинированного зенкера в 10 – 12 раз по сравнению с зенкером с напаянными пластинами, применяемым в условиях производства. Увеличение рабочей вертикальной подачи с $0,15$ до $0,50 \text{ мм/об}$ при использовании комбинированного зенкера позволило повысить производительность обработки отверстий надрессорных балок в 2,3 раза.

На основании полученных результатов испытаний комбинированный зенкер рекомендован к использованию в ремонтном производстве надрессорных балок, что исключает необходимость закупки режущего инструмента у иностранного производителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васин, С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. – М.: Машиностроение, 2006. – 383 с.
2. Пат. №2457925 РФ, МПК В23В 29/034. Режущий инструмент / Гусев В.Г., Селиванов А.М., Швагирев П.С.;

заявл. 08.04.2011, опублик. 10.08.2012. Бюл. № 22.

3. Гусев, В.Г., Селиванов, А.М. Режущий инструмент для восстановительной обработки отверстий с неравномерным припуском: Материалы Международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технология»; Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 99–101. – ISBN 978-5-905556-05-0.

4. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособ. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 236 с. – ISBN 978-5-89368-979-2.

5. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на современных фрезерных станках с ЧПУ: учеб. пособ.– Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 240 с. ISBN 978-5-9984-0025-4.

6. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на обрабатывающих центрах: учеб. пособ. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 366 с. – ISBN 978-5-9984-0165-7.

7. Гусев, В.Г., Лазарев, А.В., Селиванов, А.М. Моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерованиях отверстий в программе COSMOS WORKS // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. – № 2-6 (292). – С. 86–91.

REFERENCES

1. Vasin, S.A. *Prediction of Tool Vibration Resistance at*

Turning and Milling. – М.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 383.

2. Pat. No. 2457925 the 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. Gusev, V.G., Selivanov, A.M. Cutters for reducing machining of holes with uneven allowance. *Transactions of the Inter. Scientif. Pract. Conf. "Modern Materials, Engineering and Techniques"*; Kursk; SWSU, 2011. – pp. 99-101. - ISBN 978-5-905556-05-0.

4. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Machining Programming on NC Modern Multifunctional Lathes*: manual, Vladimir: Publishing House of Vladimir State University, 2009. – pp. 236 - ISBN 978-5-89368-979-2.

5. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Milling Programming on NC Modern Milling Machines*: manual – Vladimir: Vladimir State University Publishers, 2010. – pp. 240. ISBN 978-5-9984-0025-4.

6. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Programming of Parts Machining in Processing Centers*: manual – Vladimir: Vladimir State University Publishers, 2011. – pp. 366 - ISBN 978-5-9984-0165-7.

7. Gusev, V.G., Lazarev, A.V., Selivanov, A.M. Simulation of cutter plate elastic motions at hole chamfering 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.В. Морозов

УДК 519.234.2

DOI: 10.12737/article_5a70c1043e3ec9.32007483

А.А. Моисеев, к.т.н.

(НПП «Технос – РМ» Россия, г. Мытищи, ул. Колпакова, 2 к. 15)

E-mail: slow.coach@yandex.ru

Оценка эффективности технологического процесса по доверительным границам вероятности брака

Разработан метод оценки доверительных границ вероятности брака по результатам выборочных испытаний. Метод базируется на интерпретации указанной вероятности как параметра биномиального распределения числа забракованных объектов. Использование стьюдентова распределения позволяет рассчитывать критическое значение для ограниченного числа испытаний. При увеличении числа испытаний в серии зависимость критического значения от этого числа практически исчезает и доверительные границы можно интерпретировать как объективные характеристики используемой технологии обработки. Верхняя доверительная граница в этих условиях является критерием эффективности анализируемой технологии – чем эта граница ниже, тем технология эффективнее в отношении доли брака. В свою очередь, нижняя граница характеризует процент брака, не связанный с технологией. Основной областью применения предложенного метода является сравнительный анализ результатов выборочного контроля для рабочей и контрольной групп, характеризующих эффективность технологии.

Ключевые слова: выборочные испытания; вероятность брака; доверительные границы; доверительный интервал; критическое значение; стьюдентово распределение; контрольная группа.