

not change in function of cutting speed. Because of the greater chip deformation and thermal stress, with the decrease of the workpiece diameter, the wear intensity increases and the maximal cutting length together with its cutting speed decrease. The hard turning experiments applied for finish bore machining verify that the CBN cutting tools are characterized by long tool life. Performing the wear and tool life experiments in the usual way, with the suggested and in practice easily applicable relations the tool life path and the values of wear fluctuation can be determined.

4 CONCLUSIONS

The experiments were done with CBN tools (CBN1 and CBN2) with the same tool edge geometry and constant feed rate and depth of cut while we studied the effect of bore diameter at different cutting speeds. Because of the greater chip deformation and thermal stress, with the decrease of the workpiece diameter the intensity of wear increases while the maximal cutting length and its cutting speed are decrease.

When choosing the technological data attention must be paid that the optimal parameters can be reached in a relatively narrow range of cutting speed, and the recommended cutting speed values significantly depend on the values of feed rate, depth of cut as well as the machined workpiece diameter. With the correct choice of cutting parameters the economy of chip removal can be increased significantly.

Acknowledgement

The described work was carried out as part of the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project.

REFERENCES: 1. **Tönshoff, H. K.; Arendt, C.; Ben Amor, R.** Cutting of hardened steel, Annals of the CIRP, Vol.49/2/2000 pp. 547-566. 2. **Klocke F. Brinksmeier E., Weinert K.**: Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes, Annals of the CIRP Vol. 54/2 (2005) pp. 557-580. 3. **Y. Huang, Y. K. Chou, S.Y.Liang:** CBN tool wear in hard turning: a survey on research progresses. Int J Adv Manuf Technol (2007) 35:443-453 DOI 10.1007/s00170-006-0737-6. 4. **Y. Huang, S.Y. Liang:** Modelling of CBN tool crater wear in finish hard turning. Int. Adv Manuf Technol (2004) 24: 632-639. 5. **Y. Huang, S.Y.Liang:** Modeling of CBN Tool Flank Wear Progression in Finish Hard Turning. Transactions of the ASME Vol. 126, February 2004 p 98-106. 6. **Davies, M.A., Chou, Y., Evans, C.J.:** On Chip Morphology, Tool Wear and Cutting Mechanics in Finish Hard Turning. Annals of the CIRP Vol. 45/1/1996 pp.77-82. 7. **Y. K. Chou, C.J.Evans, M.M.Barash:** Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel. J. of Mat. Proc. Technology 124 (2002) pp.274-283. 8. **Y. Kevin Chou, chris J. Evans:** Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard turning. Wear 225-229 1999, pp 234-245. 9. **T. Naikai, S. Nakatani, K. Tomita, M. Goto:** Hard turning by PCBN, Conference of Superabrasive, Chichago, IL, June 12-14, 1991, pp.61-75. 10. **R. C. Dewes, D. K. Aspinwall:** The use of high speed machining for the manufacture of hardened steel dies, Transactions of NAMRI/SME 24 (1996) 21-26. 11. **Kundrák J.:** Validity of tool life equation when cutting with CBN tools. Proc. on the microCAD'97 International Computer Science Conference, Miskolc, Hungary, pp.97-100, 1997. 12. **Kundrák J.:** Results of research on the field of cutting with CBN tools. Proc. on the 2nd International Conference on Development of Metal Cutting, Košice, Slovakia, 1998, pp.H6-H11. 13. **Horváth M.:** Alkatrészgyártási folyamatok automatizált tervezése. / MTA SZTAKI tanulmányok 169/1985. Budapest, 205.p. 14. **Mamalis AG, Kundrak J, Horvath M.:** On a novel tool life relation for precision cutting tools, JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING - TRANSACTIONS OF THE ASME 127 (2): 328-332 may 2005. 15. **Mamalis AG, Kundrak J, Horvath M.:** Wear and tool life of CBN cutting tools, INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY 20 (7): 475-479 2002.

Поступила в редколлегию 14.04.2011

УДК 621.923

В.И. Лавриненко, д-р техн. наук, Киев, Украина
В.Ю. Солод, канд. техн. наук, Днепродзержинск, Украина,
Ю.И. Никитин, канд. техн. наук, И.В. Лещук, канд. техн. наук,
Б.В. Сытник, В.Г. Полторацкий, А.А. Девицкий, В.А. Скрыбин, Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРУГАМИ ИЗ СТМ С ОПОРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В РАБОЧЕМ СЛОЕ

Досліджений вплив природи та розмірів опорних елементів з компактів КМ і мінеральних зернистих концентратів у робочому шарі круга на формування параметрів шорсткості і профілю мікронерівностей оброблюваної поверхні стосовно процесів шліфування сталі Р6М5 і твердого сплаву Т15К6.

Исследовано влияние природы и размеров опорных элементов из компактов КМ и минеральных зернистых концентратов в рабочем слое круга на формирование параметров шероховатости и профиля микронеровностей обрабатываемой поверхности применительно к процессам шлифования стали Р6М5 и твердого сплава Т15К6.

V.I. LAVRINENKO, V.JU.SOLOD, JU.I. NIKITIN, I.V. LEWUK, B.V. SYTNIK, V.G. POLTORACKIJ, A.A. DEVICKIJ, V.A. SKRJABIN
FEATURES OF THE PROCESSED SURFACE ROUGHNESS AT GRINDING BY CIRCLES FROM ULTRA-HARD MATERIAL WITH BASIC ELEMENTS IN THE WORKING LAYER

The paper focuses on the influence of nature and sizes of support units made of compacts KM and mineral grainy concentrates in the working layer of a circle upon the parameters of roughness as well as profile of microroughness of the treated surface in respect to the processes of grinding steel P6M5 and hard alloy T15K6.

Ранее [1, 2] нами были показаны особенности применения кругов из СТМ с введением опорных элементов в рабочий слой круга. В этом случае основное направление работ было ориентировано на то, что для обеспечения новых свойств рабочего слоя круга необходимо изменять не состав связующего, а применять стандартные, применительно к конкретным условиям обработки, связующие и, при этом, часть зерен СТМ заменять на так называемые „опорные элементы”, основной функцией которых и должно быть усиление самого слабого звена рабочей поверхности круга, а именно, связующего. Это фактически разработка абразивного инструмента с дискретным режущим слоем, в котором находятся режущие зерна и функциональные опорные твердые включения. В работе [1] нами приведены исследования, когда в рабочем слое круга чередуются режущие зерна и опорные элементы из сверхтвердых материалов функционального назначения. В работе [2] изложены исследования, когда в рабочий слой круга введены в качестве опорных элементов минеральные зернистые концентраты. Целью данной работы являлось исследование особенностей шероховатости обработанной поверхности при шлифова-

нии кругами из СТМ с наличием различных опорных элементов в рабочем слое и поиску общих закономерностей.

Исследования процесса шлифования инструментальных материалов кругами из СТМ производили на стенде, созданном на базе модернизированного универсально-заточного станка модели 3В642. Шероховатость обрабатываемых поверхностей контролировалась с помощью профилометра-профилографа модели SurfTest SJ-201 фирмы Mitutoyo (Япония) и оценивалась по следующим параметрам: среднего арифметического отклонения профиля микронеровностей, Ra , мкм; максимальной высоты микронеровностей, $Rmax$, мкм; среднего шага микронеровностей по базовой линии, Sm , мкм и показателям опорной кривой профиля микронеровностей.

Укажем, что одним из важнейших геометрических параметров, который определяет качество детали, является шероховатость ее поверхностей. Наиболее распространенным и используемым в научной и технической литературе показателем шероховатости поверхности является показатель Ra . При этом, опыт промышленной эксплуатации изделий [3] свидетельствует о том, что для различных условий их эксплуатации необходимо контролировать не один, а несколько параметров шероховатости: для поверхностей, которые испытывают контактные напряжения – Ra и t_p ; для прессовых соединений – Ra ; для поверхностей изделий подверженным переменным нагрузкам – $Rmax$, Sm и *направление неровностей*; для поверхностей, которые создают герметичные соединения – Ra и t_p .

На первом этапе этой работы нами было рассмотрено формирование параметров шероховатости и относительной опорной поверхности профиля микронеровностей обрабатываемой поверхности t_p применительно к процессам шлифования быстрорежущей стали Р6М5 кругами с КНБ, причем их рабочий слой состоял исключительно из компактов микропорошков КНБ, которые далее нами рассматривались как опорные элементы. Исследовались эксплуатационные характеристики кругов с зернистостями компактов 630/500, 250/200 и 160/125 поскольку важно было выяснить влияние самих компактов на формирование шероховатости обработанной поверхности. Общие результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты исследований эксплуатационных характеристик кругов при производительности обработки в $120 \text{ мм}^3/\text{мин}$ со шлифпорошками на основе компактов микропорошков

Характеристика КНБ	Эффективная мощность шлифования, кВт	Максимальная высота микронеровностей, $Rmax$, мкм	Шероховатость по Ra , мкм
К 630/500	0,4	3,11	0,44
К 250/200	0,3	3,19	0,37
К 160/125	0,1	5,49	0,46

Как видно из табл. 1, снижение зернистости компактов в кругах в 4 раза фактически не влияет на шероховатость обработанной поверхности по параметру Ra . Вместе с тем, наблюдается определенная разница в значениях параметра $Rmax$. Анализ характерного профиля микрорельефа позволяет сделать вывод о том, что со снижением зернистости компактов происходит образование так называемых «карманов». Если при зернистости 630/500 наблюдается более-менее равномерный профиль микрорельефа, то для зернистости 160/125 характерным является профиль микрорельефа со своеобразными «карманами». Это мы можем наблюдать и по изменению характера кривой относительной опорной длины профиля (рис. 1). Видно, что при зернистости в 160/125 (рис. 1, а) материал больше заполняет верхнюю часть микропрофиля, а вот при зернистости в 630/500 (рис. 1, б) он распределен как бы более равномерно, как в верхней, так и нижней части шероховатого слоя.

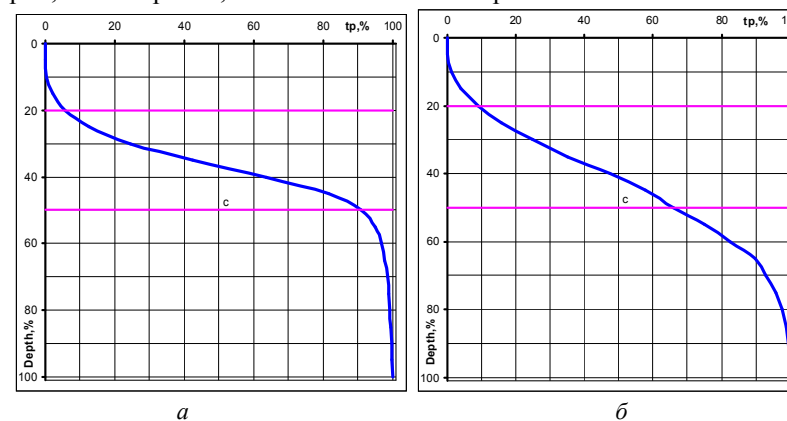


Рисунок 1 – Относительная опорная длина профиля (а – для зернистости компактов 160/125; б – для зернистости 630/500)

Зависимости относительной опорной долины профиля t_{20} и t_{50} в сечениях, соответствующих 20% и 50% высоты профиля, от зернистости компактов представлены на рис. 2.

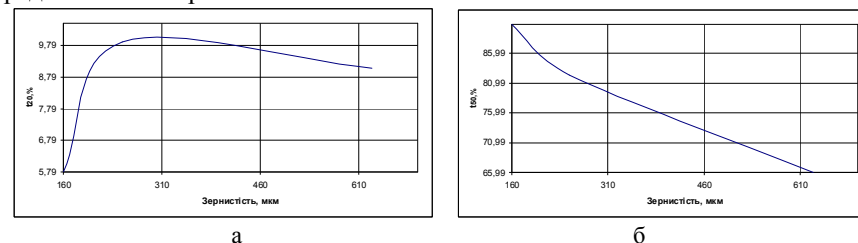


Рисунок 2 – Зависимость показателей опорной долины профиля от зернистости компактов (а – t_{20} ; б – t_{50})

Из рис. 2 видно, что со снижением зернистости (с 630/500 до 160/125) t_{50} возрастает, а вот t_{20} удерживаясь постоянным, после зернистости в 250 мкм (особенно в 160/125) резко снижается. То есть на такой зернистости происходит повышение несущей способности микронеровностей обрабатываемой поверхности и именно в этой области и зафиксировано появление на профиле микрорельефа поверхности упомянутых выше «карманов».



Рисунок 3 – Пример корреляционной связи между высотным параметром Ra и шагом микронеровностей Sm для компактов микропорошков

Дополнительный вывод, который следует из изложенного, состоит в том, что на наш взгляд, тут действует особый механизм изнашивания зерен компактов микропорошков КНБ. Преимущественно они изнашиваются в значительной мере не сколами, а как бы послойно, из-за повышенного содержания в них гексагонального нитрида бора, поэтому режущая способность зерна не возобновляется, возрастает контакт площадки скользящего зерна по обрабатываемой поверхности. Косвенным подтверждением гипотезы о послойной изнашиваемости зерен должна быть небольшая разница в величинах шероховатости, при достаточно ошутимом различии в величинах зернистостей, что мы и видим из табл. 1. Анализ связи между показателем шероховатости Ra и шагом неровностей Sm (рис. 3) четко выявил, что в качестве опорных элементов в рабочем слое кругов следует использовать преимущественно зернистость компактов в 160/125, поскольку на других зернистостях, которые проявили себя неработоспособными в кругах наблюдается повышение значений шага неровностей. При этом, даже напрашивается вывод о том, что повышение (до 630/500), как и снижение (125/100) зернистости эффекта не приносит. Наиболее работоспособной оказалась зернистость компактов – 160/125. Вместе с тем, из данных по шероховатости возможно сделать вывод о том, что в определенной степени тут имеет значение то, что в зернистости 160/125 (в общем объеме навески) были зерна, которые в какой-то мере были ближе к стандартным зернам КНБ, чем к компактам, что им и давало возможность удерживать режущую способность круга.

Выше мы рассмотрели особенности использования компактов СТМ в виде опорных элементов, вместе с тем в Украине есть природное минеральное сырье в виде минеральных зернистых концентратов, которое могло бы быть рассмотрено в виде опорных элементов. К такому сырью, потенциально обладающему абразивными свойствами, относятся титано-цирконовые минералы и кварц – продукты переработки титано-цирконовой руды на Вольногорском горно-металлургическом комбинате Днепропетровской области Украины. В последнее время значительно увеличено извлечение и повышено качество концентратов: рутилового, ставролитового, ильменитового, цирконового, кварцевого и дистен-силлиманитового, которые пользуются большим спросом в Украине и за рубежом, в частности в России. Основной состав и некоторые физико-механические характеристики минеральных концентратов применительно к их зернистости в 160/125 приведены в табл. 2.

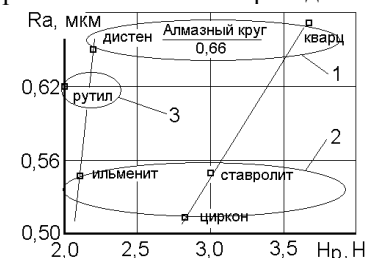


Рисунок 4 – Шероховатость обработанной поверхности твердого сплава Т15К6 при его шлифовании с производительностью 500 мм³/мин при использовании алмазных шлифовальных кругов с введением зернистых концентратов.

В целом зернистые концентраты имеют скругленную овальную форму со значением коэффициента формы для всех порошков в пределах от 1,35 до 1,46, а это свидетельствует о том, что такие порошки, хотя они и имеют прочность где-то на уровне зерен шлифпорошков из эльбора марки ЛЮ, применять для съема обрабатываемого материала нецелесообразно, а вот использовать их в качестве опорных элементов вполне реально.

Рассмотрим теперь поведение шероховатости обработанной поверхности при обработке кругами с различными концентратами. Учитывая их овализованную форму (см. табл. 2), логичным было бы предположить, что шероховатость обработанной поверхности будет ниже. Для проверки этого предположения были изготовлены 4 шлифовальных круга 12А2-45° 100x5x3x32-100/80–В2-01–100 с содержанием в рабочем слое соответственно: кубонита КР, кварца, циркона и ставролита. Исследования проведенные при шлифовании стали Р6М5 показали, что при производительности обработки в 100 мм³/мин шероховатость обработанной поверхности по параметру Ra достигается : кругом из кубонита в 0,24...0,25 мкм, кварца – 0,21...0,23 мкм, циркона – 0,16...0,18 мкм, ставролита – 0,11...0,13 мкм.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики минеральных зернистых концентратов

Концентрат	Общий вид	Характеристики		
		Твердость по Моосу	Плотность г/см ³	Разрушающая нагрузка, Н
Рутиловый (TiO ₂)		6,0	4,15...4,30	2,0
Ильмени-товый (Fe ₂ O ₃ ·TiO ₂)		5,5...6,5	4,12...4,17	2,1
Дистен-силлиманитовый Al ₂ [SiO ₄]O		5,5...7,0	3,20...3,50	2,2
Цирконовый Zr[SiO ₄]		7,5	4,50...4,65	2,8
Ставроли-товый (Fe ₂ Al ₉ [SiO ₄]O ₇ (OH))		7,5	3,60...3,75	3,0
Кварцевый (SiO ₂)		7,25	2,65	3,7

Видно, что только круги из ставролита и циркона ощутимо снижают шероховатость, в отличие от наиболее твердого концентрата – кварца, где шероховатость на уровне кругов из кубонита. Укажем также, что дальнейшее повышение производительности приводит к прижогам при использовании кругов из концентратов, даже кварца, поэтому прямое использование таких материалов в качестве абразивных нецелесообразно, а как мы и указывали выше, их нужно использовать для частичной замены зерен СТМ и, именно в качестве опорных элементов, что нами и было реализовано в алмазных кругах, а данные по шероховатости приведены на рис. 4. Анализ рис. 4 позволяет сделать ряд выводов.

Здесь мы видим три группы, причем как для группы малопрочных (ильменит–дистен), так и для группы средней прочности (циркон–ставролит) концентратов наблюдается тенденция, когда с повышением прочности шероховатость растет. Укажем, что кварц логично вписывается в эту тенденцию, что подтверждается и изложенными нами выше данными по шероховатости в сравнении с кругами из кубонита, а вот совсем не вписывается рутил, который имеет повышенные значения параметра *Ra*. Теперь внимательно рассмотрев данные по шероховатости, представленные на рис. 4, мы можем выделить три группы концентратов: 1-я группа – дистен, кварц и чисто алмазный круг (*Ra* в диапазоне 0,65...0,67), 2-я группа – ильменит, ставролит и циркон (*Ra* в диапазоне 0,51...0,55) и промежуточная третья группа (*Ra* 0,62) – опять же рутил. Объяснение такому несколько неожиданному поведению рутила следует, по нашему мнению, искать в том, что именно рутил из всех рассмотренных концентратов является наиболее применимым для использования в виде опорных элементов. Как подтверждение этому мы можем привести данные по формированию микрогеометрии шероховатого слоя после обработки алмазным кругом с содержанием рутила (рис. 5,а) и например, ильменита (рис. 5,б). Профилограмма поверхности после шлифования стандартными алмазными кругами и кругами с частичной заменой на зернистые концентраты, кроме рутила, имеет вид, представленный на рис. 5,б. При шлифовании кругами с наличием рутила поверхность приобретает вид (см. рис. 5,а) характерный для шлифования кругами с наличием опорных элементов в рабочем слое круга.



Рисунок 5 – Профилограмма поверхности после шлифования алмазными кругами с частичной заменой на зернистые концентраты – рутил (а) и ильменит (б).

Учитывая изложенное выше, далее сравнивали показатели шероховатости для случая, когда в рабочем слое есть чисто алмазы АС6 125/100, сочетание АС6 125/100 с компактами КМ 160/125 (75 на 25) и сочетание АС6 125/100 с зернистым концентратом рутилом 160/125 (75 на 25).

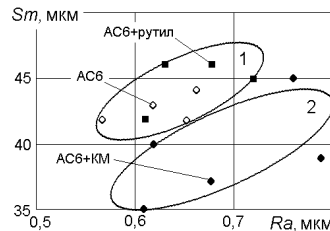


Рисунок 6 – Связь между параметрами шероховатости S_m и R_a : 1 – область данных для алмазного круга и алмазного круга с опорным элементом рутилом, 2 – область данных для алмазного круга с опорным элементом компактом КМ

Испытания при обработке твердого сплава Т15К6 на производительностях шлифования от 100 до 500 мм³/мин показали, что наиболее заполненный профиль микронеровностей фиксируется при использовании сочетания АС6 с рутилом. При этом, зависимость шага неровностей от параметра R_a имеет такую особенность как то, что при использовании в качестве опорных элементов в рабочем слое компакта КМ возможно снизить величину шага (рис. 6), а вот рутил этот шаг в сравнении с чисто алмазными кругами не изменяет и связано это вероятно с тем, что концентрат рутил фактически, в отличие от более прочного компакта КМ, участия в съеме материала не принимает. Интересно, что зависимость $R_{max}=f(R_a)$ для всех трех случаев не изменяется и все данные примерно укладываются в коридор $R_{max}=7R_a$.

Таким образом, показано, что введение в виде опорных элементов в состав рабочего слоя шлифовальных кругов из СТМ порошков компактов КМ или концентратов рутила позволяет изменить характер шероховатости обработанной поверхности. Причем наиболее это отражается не на высотных показателях шероховатости, а на шаговых показателях и характере распределения материала в шероховатом слое, в т.ч. опорной кривой. Выявлено, что изменяя природу опорного элемента возможно снизить или увеличить шаг микронеровностей при сохранении высотных показателей.

Список использованных источников: 1. Лавріненко В.І., Солод В.Ю., Ситник Б.В., Нікітін Ю.І. Застосування опорних елементів в структурі робочого шару кругів з НТМ для підвищення їх експлуатаційних показників // Сверхтвердые материалы. – 2011. – № 1. – С. 74–81. 2. Введення опорних елементів у вигляді мінеральних зернистих концентратів в робочий шар кругів з НТМ для зміни їх експлуатаційних характеристик в процесах шлифування / В.І. Лавріненко, Б.В. Ситник, І.В. Лещук та ін. // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матер. 11-го Межд. науч.-техн. семинара, 21-25.02.2011 г., г. Свалява. – К.: АТМ Украины, 2011. – С. 149–154. 3. Козловский Н.С., Виноградов А.Н. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1979. - 224с.

Поступила в редколлегию 17.05.11

Bibliography (transliterated): 1. Lavrinenko V.I., Solod V.Ju., Sitnik B.V., Nikitin Ju.I. Zastosuvannja opornih elementiv v strukturі robochogo sharu krugiv z NTM dlja pidvivennja ih ekspluatacijnih pokaznikov // Sverhtverdye materialy. – 2011. – № 1. – С. 74–81. 2. Vvedennja opornih elementiv u vigljadi mineral'nih zernistih koncentrativ v robochij шар krugiv z NTM dlja zmini ih ekspluatacijnih karakteristik v procesah shlifuvannja / V.I. Lavrinenko, B.V. Sitnik, I.V. Lewuk ta in. // Sovremennye problemy proizvodstva i remonta v promyshlennosti i na transporte: Mater. 11-go Mezhd. nauch.-tehn. seminaru, 21-25.02.2011 g., g. Svaljava. – K.: ATM Ukrainy, 2011. – S. 149–154. 3. Kozlovskij N.S., Vinogradov A.N. Osnovy standartizacii, dopuski, posadki i tehničeskie izmerenija. - M.: Mashinostroenie, 1979. - 224s.

УДК 621.91.01

В.А. Логоминов, Ю.Н. Внуков, д-р техн. наук, Запорожье, Украина

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПО УЧЕТУ ДИНАМИКИ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ОБЗОР)

Статья содержит анализ разных подходов для определения динамических сил резания в работах разных авторов. Рассмотрены причины вибрации при резании металлов.

Статья содержит анализ различных подходов для определения динамических сил резания в работах различных авторов. Рассмотрены причины вибрации при резании металлов.

V.A. LOGOMINOV, JU.N. VNUKOV

THE ANALYSIS OF APPROACHES UNDER THE ACCOUNT OF CUTTING FORCES DYNAMICS AT FORECASTING MACHINING CHATTER STABILITY (REVIEW)

The article contains analysis of different approaches for the determination of dynamic cutting forces in the works of various authors. Causes of chatter by metal cutting have been considered.

Одним из факторов, сдерживающим рост производительности и повышение качества обработанной поверхности, а также снижающим стойкость инструмента при механической обработке резанием являются вибрации. Вибрации, возникающие в процессе резания, принято считать результатом вынужденных колебаний, действующих на систему резания, или автоколебаний. Основным условием возникновения автоколебаний в механических системах является наличие нелинейной зависимости между силой вызывающей вибрации и перемещением механической системы. Поэтому для оценки виброустойчивости обработки резанием важно знать характер изменения сил резания при изменяющихся во время вибраций условиях обработки.

Известно несколько причин, которыми объясняют возникновение автоколебаний при резании:

- «Падающая» зависимость коэффициента трения на передней поверхности инструмента от скорости перемещающейся по ней стружки.
- Влияние волнистости на поверхности резания, оставшейся от предыдущего прохода инструмента.
- Отставание изменения силы резания от изменения толщины срезаемого слоя.
- Различие сил резания при врезании резца в свежий металл и при отгеснении им наклепанного слоя металла стружки при вибрациях.
- Изменение рабочих углов инструмента при колебаниях.
- Наличие координатной связи перемещений инструмента относительно заготовки.