

УДК 621.9:621.91.01:621.9.025

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-12-49-57

Б.Я. Мокрицкий, А.В. Морозова

ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕЗАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Представлены рекомендации по обеспечению правильного выбора качества твёрдосплавных пластин под заданные условия их эксплуатации. Предложена и обоснована на базе имитационного моделирования методика использования составляющих силы резания для выбора или проектирова-

ния инструментального материала для токарной обработки в разных условиях эксплуатации инструмента.

Ключевые слова: сила, резание, управление, ресурс, инструмент, рекомендации.

B.Ya. Mokritsky, A.V. Morozova

DIAGNOSTICS OF ENGINEERING CUTTING SYSTEM USING CUTTING FORCE PARAMETERS

The purpose of this work: the engineering process optimization of 09H17N7Yu steel turning at the expense of creating the procedure allowing the diagnostics of an engineering cutting system state on the results of cutting force control, inverse problem solution, that is, cutting force control according to the analysis results of system state diagnostics, the optimization of cutting mode parameters to ensure the required values of a cutting force, on the basis of the analysis results of a cutting force the tool materials and tool geometry should be recommended for cutter wear-resistance increase, the prediction of tool life at the expense of designing new tool materials and tool geometry for new conditions of their operation.

There are presented recommendations to ensure a correct choice of carbide cutting inserts quality for the specified conditions of their operation. On the investigation results there are obtained conclusions: the most promising for special stainless steel 09H17N7Yu

turning were tool materials: TC8+TiCN(mkm) + (TiAl)N(3mkm) + Al₂O₃(5mkm) + TiC(5mkm); TC8+Al₂O₃(2mkm) + (Ti)CN(5mkm) + (TiAl)N(3mkm) + TiN(3mkm); TC8 + (TiAl)N(3mkm) + Al₂O₃(3mkm) + (TiAl)N(3mkm) + Al₂O₃(3mkm); it is defined that at cutting mode forcing (cutting speed 60m/min, depth 2.5mm) or at turning titanium alloy TT-22 more complex in machining the mentioned tool materials met the demands made, that is, real insert life varied from the designed one not considerably (in the first case – 7% maximum, in the second one – 14%), that is the most acceptable. Work novelty: there is offered and substantiated a procedure for cutting force constituents use on the basis of simulation for the choice or design of tool material for turning in different conditions of tool operation.

Key words: force, cutting, control, life, tool, recommendations.

Введение

Состояние технологической системы резания необходимо поддерживать в оптимальном состоянии при любом внешнем воздействии на неё [13–15]. Можно настраивать и поддерживать состояние системы резания по силе резания. Сила резания и её составляющие в косвенном виде отражают изменения, происходящие в системе резания в силу того, что они являются следствием и результатом этих процессов.

Здесь приведены результаты исследования силы резания применительно к токарной обработке специализированной высоко коррозионностойкой труднообрабатываемой нержавеющей стали марки 09X17N7Ю. Необходимость исследования вызвана тем, что имевшиеся ранее рекомендации по её обработке устарели по ряду причин [1–16]. Требуется разработка новых рекомендаций.

Методология исследования

Исследование построено на сочетании результатов натуральных экспериментов, полученных при имитационном численном компьютерном моделировании искомых параметров.

Для решения поставленной задачи использована программная среда *Deform* в демонстрационном варианте. При проведении имитационного численного компьютерного моделирования в качестве аксиомы принято, что результирующая сила резания и её три (по числу проекций) составляющие является наиболее простым источником информации для анализа состояния системы резания.

В качестве критерия, по которому были сделаны выводы об эффективности

созданной методики, принята работоспособность сменных типовых пластин токарных резцов. Под работоспособностью понимали время работы пластин до достижения ими износа 0,5 мм. Рассматривали продольное точение пластинами, выполненными из отечественного твёрдого сплава марки ВК8 и разными упрочняющими покрытиями, нанесёнными на него.

Для измерения величин износа пластин использовали мультисенсорную систему модели *Micro Vu Sol 161*, для измерения всех трёх составляющих силы резания использовали специализированный токарный динамометр модели *STD201-2*, установленный на токарно-винторезный станок модели 16К25.

Обсуждение полученных результатов

На рис. 1 показан пример соотношения составляющих силы резания.

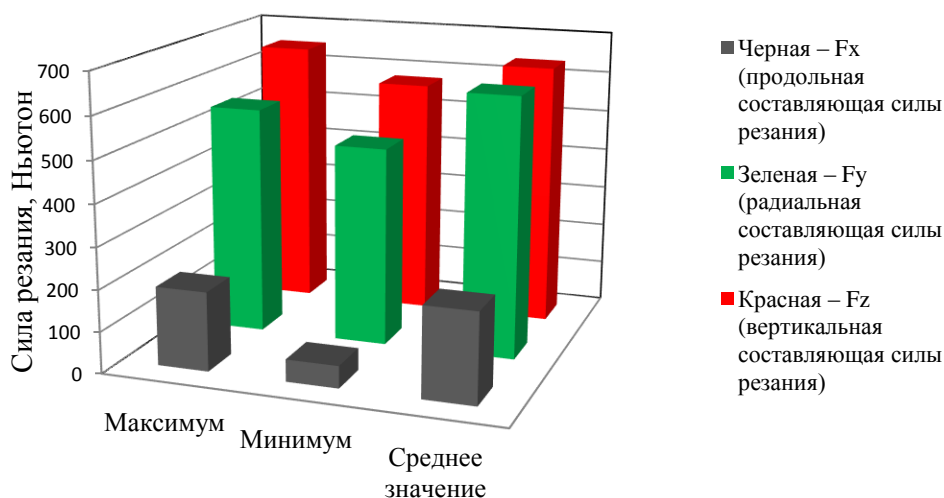


Рис. 1. Диапазоны изменения величин составляющих силы резания

Из рис. 1 видно, что доминирует вертикальная составляющая силы резания, её колебания значительны. Следовательно, эту составляющую силы резания наиболее целесообразно использовать для управления [17–19] процессом резания.

На рис. 2 показаны участки документированной записи сил резания разными инструментальными материалами при точении стали 09Х17Н7Ю со скоростью ре-

зания 50 м/мин., глубиной резания 1,0 мм и подачей 0,21 мм/оборот заготовки.

Из рис. 2 видно ещё более значительное отличие в составляющих силы резания: вертикальная составляющая при применении инструментального материала ВК8 + (AlCr)N(1,5мкм) + (AlTi)N(2мкм) с 650 Н снизилась до 400 Н, радиальная составляющая с 660 Н до 250 Н, продольная составляющая с 210 Н до 90 Н [18].

В ходе исследования были проведены эксплуатационные натурные испытания различных инструментальных материалов.

Примеры оценки их работоспособности показаны на рис. 3.

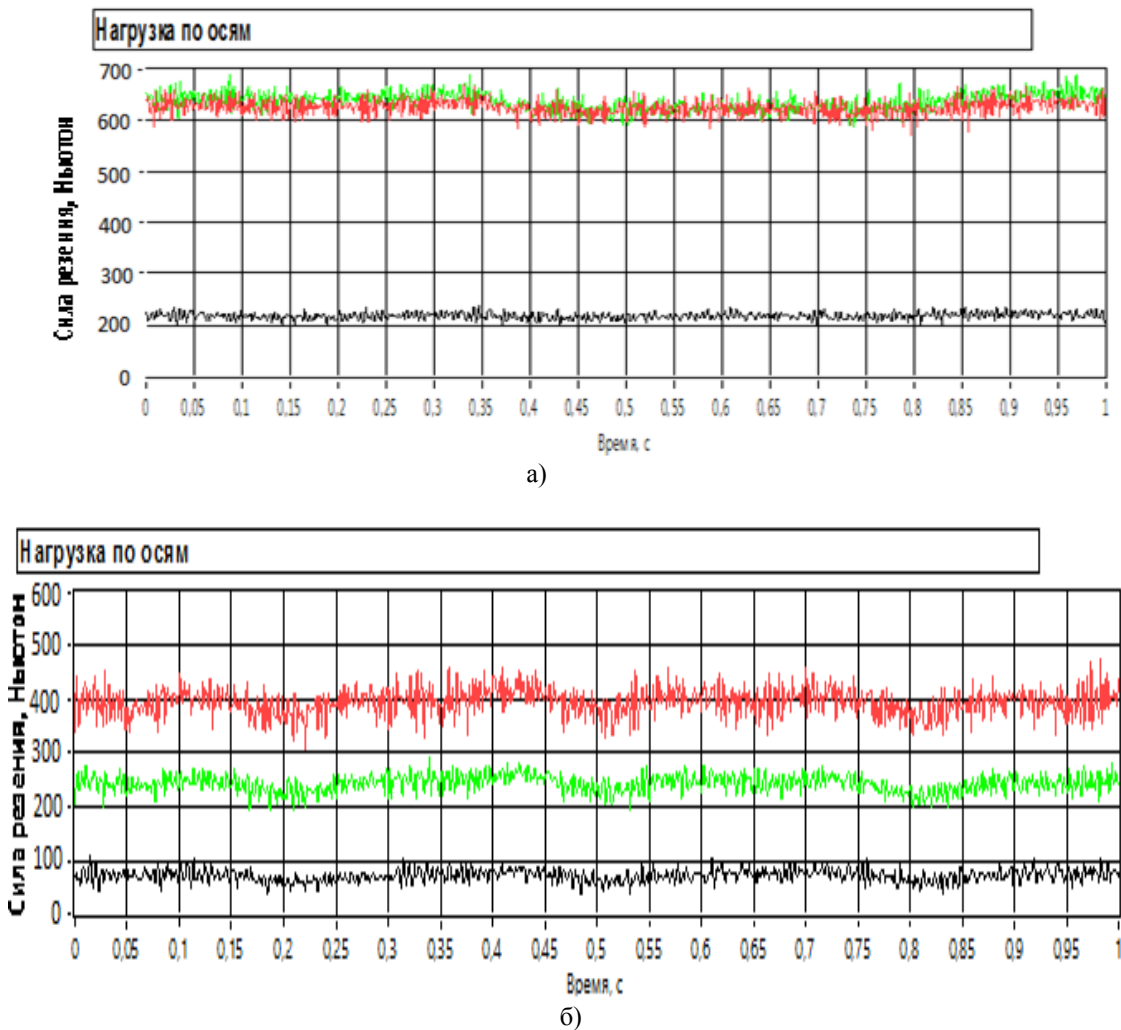


Рис. 2. Примеры записи составляющих сил резания:

а - пластиной, выполненной из твёрдого сплава марки ВК8;

б - выполненной из твёрдого сплава марки ВК8 с покрытием (AlCr)N(1,5мкм) + (AlTi)N(2мкм).

Примечание: цифры с размерностью мкм в скобках указывают толщину слоя покрытия

На рис. 3а жирной линией показан документированный экспериментальный результат. Тонкой линией показан вариант замены посредством применения методов регрессионного анализа экспериментальной линии регрессионной моделью в форме прямой линии; связь анализируемых параметров – прямая. В верхней левой части рисунка представлена математическая модель регрессии – уравнение, описывающее эту прямую линию с дисперсией $R^2=0,9197$, что подтверждает высокий уровень адекватности полученной математической модели.

На рис. 3б математическая модель представлена в форме нелинейной регрес-

сии – уравнением третьей степени; связь между анализируемыми параметрами также прямая. Полученное значение дисперсии $R^2=0,9973$ также подтверждает высокий уровень адекватности избранной регрессионной модели.

На рис. 4 показан пример соотношения работоспособности нескольких инструментальных материалов в равных условиях эксплуатации:

1- инструментальный твёрдый сплав марки ВК8 (без покрытия); 2, 3, 4 - инструментальный твёрдый сплав марки ВК8 с различными вариантами покрытий:

- 2 - BK8+Ti(1мкм)+TiN(1мкм)+(NbZrTiAl)N(2,5мкм);
- 3 - BK8+Ti(1мкм)+TiN(1мкм)+(TiAl)N(2мкм)+TiN(0,5мкм);
- 4 - BK8+(AlCr)N(1,5мкм)+(AlTi)N(2мкм).

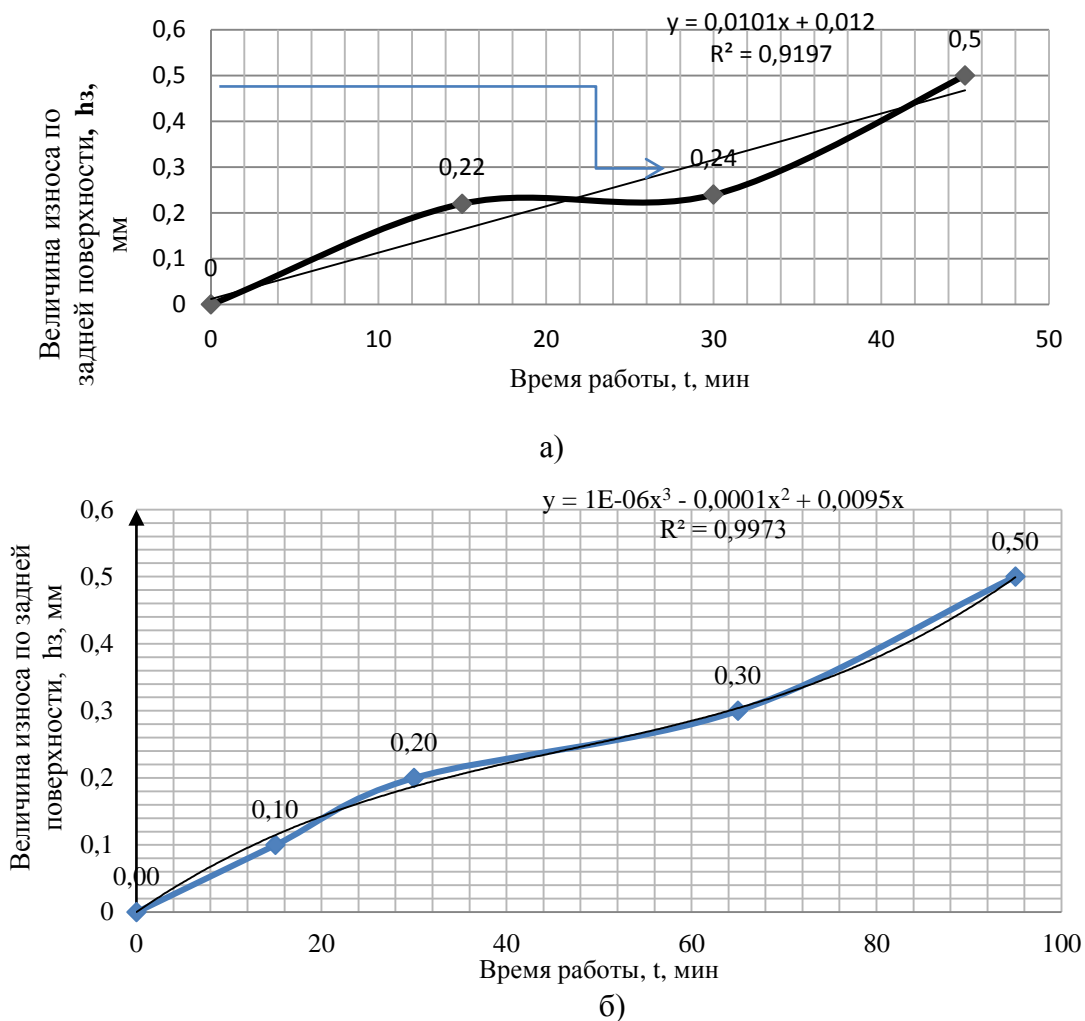


Рис. 3. Пример зависимости величины износа h_z от времени t работы твёрдосплавного инструмента (режим резания: $v=55$ м/мин, $n=160$ об/мин, $s=0,21$ мм/об, $t=1$ мм):
 а – инструментальный материал BK8;
 б - BK8+TiCN(1мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(2мкм) [19]

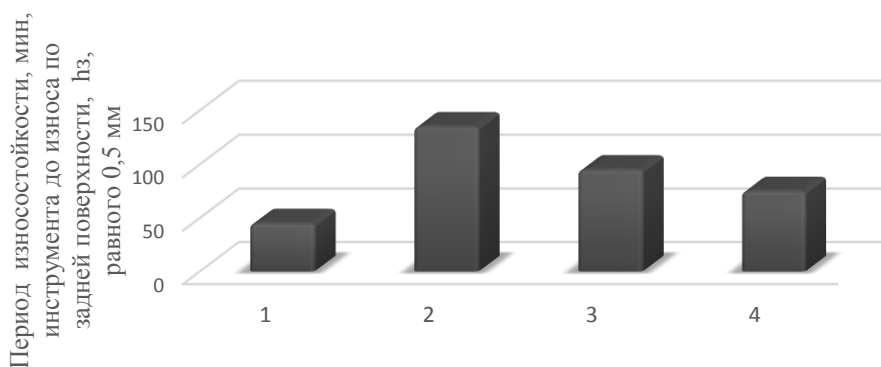


Рис. 4. Сравнительный анализ работоспособности различных инструментальных материалов

Из рис. 4 видно, что применение покрытий может более чем в 3 раза увеличить работоспособность инструмента. Это утверждение обосновывает целесообразность выявления зависимости между работоспособностью инструмента и величиной составляющих силы резания. Гипотеза ис-

следования: величина работоспособности инструмента имеет обратную корреляционную зависимость с величиной силы резания. Результаты проверки гипотезы представлены на рис. 5 и 6.

На рис. 5 в качестве инструментальных материалов использованы [20]:

- 1 - BK8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(5мкм) + TiC(5мкм)
- 2 - BK8+Al₂O₃(2мкм)+(Ti)CN(5мкм)+(TiAl)N(3мкм)+TiN(3мкм)
- 3 - BK8+(TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(3мкм)+(TiAl)N(3мкм)+Al₂O₃(3мкм)
- 4 - BK8 + TiN(3мкм) + TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + TiC(3мкм)
- 5 - BK8+TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + (TiAl)N(2мкм)
- 6 - BK8+TiCN(2мкм) + TiC(3мкм) + TiN(1,5мкм)
- 7 - BK8 + TiC(1,5 мкм) + TiN(3мкм)
- 8 - BK8+TiN(2мкм) + TiC(5мкм)
- 9 - BK8+TiCN(0,5мкм)+TiC (1мкм)
- 10 - BK8+TiN(0,5мкм)+TiC(1мкм)
- 11 - BK8.

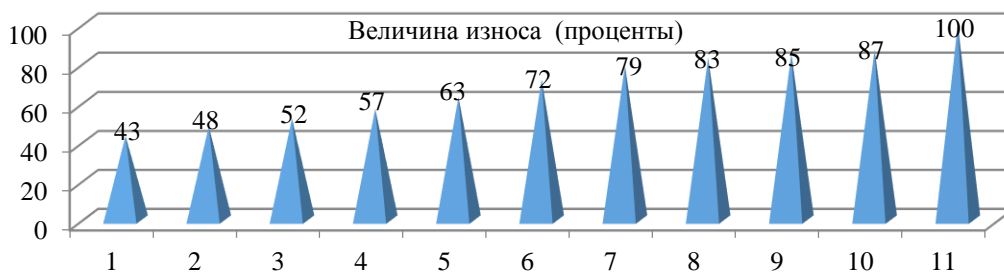
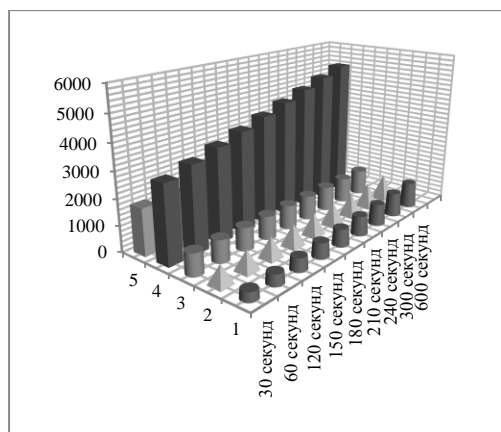


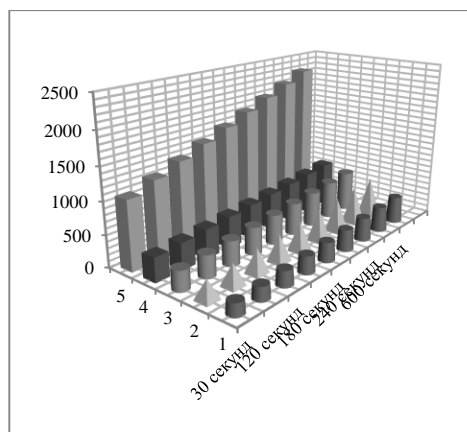
Рис. 5. Иллюстрация результатов имитационного моделирования величины износа (по вертикали приведено как 100%) для разных инструментальных материалов

На рис. 6 параметры исследования:

- 1 - величина износа инструмента;
- 2 – температура в зоне резания;
- 3 – эквивалентные напряжения в инструментальном материале;
- 4 – максимальная составляющая силы резания (её значения в Ньютонах показаны на вертикальной оси);
- 5 – величины деформации.



а)



б)

Рис. 6. Взаимосвязь изменения во времени (600 секунд) пяти параметров исследования для: а – инструментального материала BK8;

б - инструментального материала BK8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(5мкм) + TiC(5мкм)

На рис. 6 соотношение масштабов для каждого из параметров выбрано произвольным. Целью исследования было выявить динамику для каждого из параметров: износ (ряд 1) показан в условных единицах (максимум принят за 100%); температура, напряжение и деформация – в соответствующих единицах измерения; принципиальное значение имеет сила резания (ряд 4), оказывающая значительное влияние на величину износа.

Заключение

1. Разработаны рекомендации, позволяющие:

- диагностировать состояние технологической системы резания по результатам контроля силы резания;

- по результатам анализа диагностики состояния системы настраивать элементы системы резания на получение требуемого уровня значений силы резания;

- оптимизировать параметры режима резания для обеспечения требуемых величин силы резания;

- проектировать инструментальные материалы под необходимый ресурс инструмента для новых условий их эксплуатации.

2. Наиболее перспективными для токарной обработки стали марки 09X17H7Ю оказались инструментальные материалы

Из рис. 6а видно, что при стремительном росте силы резания, достигающей 5200Н, отстают во времени темп прироста износа, деформация инструмента и температура в зоне резания, при этом возрастает темп прироста напряжений в инструментальном материале.

Аналогичные исследования авторами проведены для значительного числа инструментальных материалов, параметров режима резания и обрабатываемых материалов.

ВК8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(5мкм) + TiC(5мкм);
 ВК8+Al₂O₃(2мкм) + (Ti)CN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(3мкм); ВК8 + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(3мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(3мкм) [20].

3. Установлено, что при форсировании режимов резания (скорость резания 60 м/мин, глубина 2,5 мм) или при точении более сложного в обработке титанового сплава марки ВТ-22 указанные инструментальные материалы удовлетворили предъявляемым требованиям, т.е. реальный ресурс пластин отличался от проектного незначительно (в первом случае – максимум 7 %, во втором случае – 14 %). Этот результат авторы считают приемлемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abou-El-Hossein, K.A. High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts / K.A. Abou-El-Hossein, Z. Yahya // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2005. - Vol. 162–163. - Pp.596-602. - Doi.org/10.1016/j.jmatprot.2005.02.129.
2. Behera, B.C. Wear behavior of PVD TiN coated carbide inserts during machining of Nimonic 90 and Ti6Al4V superalloys under dry and MQL conditions / B.C. Behera, S. Ghosh, P.V. Rao // *Ceramics International*. – 2016. - Vol. 42. - Iss. 13. - Pp. 14873-14885. - Doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.124.
3. Cherukuri, R. Pulsed laser deposition of AlMgB14 on carbide inserts for metal cutting / R. Cherukuri, M. Womack, P. Molian, A. Russell, Y. Tian // *Surface and Coatings Technology*. – 2002. - Vol. 15. - Iss. 2–3. - Pp.112-120. - Doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00050-6.
4. Das, S. Chattopadhyay A.B. Evaluation of wear of turning carbide inserts using neural networks / S. Das, R. Roy // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 1996. – Vol. 36. – Iss. 7. – Pp. 789-797. - Doi.org/10.1016/0890-6955(95)00089-5.
5. Engström, L.U. Multiple grade cemented carbide inserts for metal working and method of making the same / L.U. Engström, H. Ouchterlony // *US Patent 6,685,880*, 2004. - <https://patents.google.com/patent/US6685880B2/en>.
6. Gassner, M. Influence of Ar ion etching on the surface topography of cemented carbide cutting inserts / M. Gassner, N. Schalk, B. Sartory, M. Pohler, Ch. Czettel, Ch. Mitterer // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2017. - Vol. 69. - Pp. 234-239. - Doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017.08.015.

7. Li, H.Z. An experimental study of tool wear and cutting force variation in the end milling of Inconel 718 with coated carbide inserts / H.Z. Li, H. Zeng, X.Q. Chen // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – Vol. 180. – Iss. 1–3. – Pp. 296-30. – Doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.07.009.
8. More, A.S. Tool wear and machining performance of cBN–TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel / A.S. More, W. Jiang, W.D. Brown, A.P. Malshe // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – Vol. 180. – Iss. 1–3. – Pp. 253-262. – Doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.06.013.
9. Randall, W. Cutting bit mount having carbide inserts and method for mounting the same // RW Ojanen - US Patent 5,251,964, 1993.
10. Roy, P. Machinability study of pure aluminium and Al–12% Si alloys against uncoated and coated carbide inserts / P. Roy, S.K. Sarangi, A. Ghosh, A.K. Chattopadhyay // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2009. – Vol. 27. – Iss. 3. – Pp.535-544. – Doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.04.008.
11. Sahoo, A.K. Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts / A.K. Sahoo, B. Sahoo // *Measurement*. – 2012. – Vol. 45. – Iss. 8. – Pp.2153-2165. – Doi.org/10.1016/j.measurement.2012.05.015.
12. Schramm, B.C. Tribological properties and dry machining characteristics of PVD-coated carbide inserts / B.C. Schramm, H. Scheerer, H. Hoche, E. Broszeit, E. Abele, C. Berger // *Surface and Coatings Technology*. – 2004. – Vol. 188–189. – Pp. 623-629. – Doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.067
13. Skordaris G., Bouzakis K.D., Charalampous P., Kotsanis T., Bouzakis E., Bejjani R. Bias voltage effect on the mechanical properties, adhesion and milling performance of PVD films on cemented carbide inserts / G. Skordaris, K.D. Bouzakis, P. Charalampous, T. Kotsanis, E. Bouzakis, R. Bejjani // *Wear*. – 2018. – Vol. 404–405. – Pp. 50-61. – Doi.org/10.1016/j.wear.2018.03.001.
14. Vereschaka, A. Application of finite element method (FEM) to study stress-strain state and distribution of temperatures in cutting zone in turning of various structural materials by carbide tools with coatings of various composition and architecture. / A. Vereschaka, B. Mokritskii, E. Mokritskaya, O. Sharipov, C. Sotova // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 613. – 012019. – Doi:10.1088/1757-899X/613/1/012019.
15. Vereschaka, A. Application of nanostructured Zr–ZrN–(Zr,Al)N and Zr–ZrN–(Zr,Cr,Al)N coatings for improvement of tool life and performance in end milling of carbides / A. Vereschaka, M. Oganyan, Y. Bublikov, N. Sitnikov, K. Deev, V. Pupchi, B. Mokritskii // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. Vol. 613. – 012020. – doi:10.1088/1757-899X/613/1/012020.
16. Vereschaka, A. Two-component end mills with multilayer composite nano-structured coatings as a viable alternative to monolithic carbide end mills / A. Vereschaka, B. Mokritskii, E. Mokritskaya, O. Sharipov, M. Oganyan // *Mechanics & Industry*. – 2017. – Vol. 18. – P. 705. – https://Doi.org/10.1051/meca/2017052.
17. Мокрицкий, Б.Я. Повышение качества инструментального обеспечения / Б.Я. Мокрицкий, Т.И. Усова, А.Г. Серебренникова // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2019. – Т. 15. – № 8. – С. 381-384.
18. Мокрицкий, Б.Я. Управление выбором упрочняющего инструмента на основе моделирования в программной среде Deform / Б.Я. Мокрицкий, Э.С. Ситамов, В.Ю. Верещагин, О.Г. Шакирова // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2019. – № 6(174). – С. 249-251.
19. Ситамов, Э.С. Оценка износостойкости твердосплавного инструмента при обработке нержавеющей стали / Э.С. Ситамов, Б.Я. Мокрицкий, О.Г. Шакирова // *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*. – 2019. – № 3(39). – С. 109-112.
20. Мокрицкий, Б.Я. Оценка износостойкости инструментальных покрытий на основе имитационного моделирования / Б.Я. Мокрицкий, Э.С. Ситамов // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2020. – №2(151). – 295-302.
1. Abou-El-Hossein, K.A. High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts / K.A. Abou-El-Hossein, Z. Yahya // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2005. – Vol. 162–163. – Pp.596-602. – Doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.129.
2. Behera, B.C. Wear behavior of PVD TiN coated carbide inserts during machining of Nimonic 90 and Ti6Al4V superalloys under dry and MQL conditions / B.C. Behera, S. Ghosh, P.V. Rao // *Ceramics International*. – 2016. – Vol. 42. – Iss. 13. – Pp. 14873-14885. – Doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.124.
3. Cherukuri, R. Pulsed laser deposition of AlMgB14 on carbide inserts for metal cutting / R. Cherukuri, M. Womack, P. Molian, A. Russell, Y. Tian // *Surface and Coatings Technology*. – 2002. – Vol. 15. – Iss. 2–3. – Pp.112-120. – Doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00050-6.
4. Das, S. Chattopadhyay A.B. Evaluation of wear of turning carbide inserts using neural networks / S. Das, R. Roy // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 1996. – Vol. 36. – Iss. 7. – Pp. 789-797. – Doi.org/10.1016/0890-6955(95)00089-5.
5. Engström, L.U. Multiple grade cemented carbide inserts for metal working and method of making the same / L.U. Engström, H. Ouchterlony // US Patent 6,685,880, 2004. – https://patents.google.com/patent/US6685880B2/en.

6. Gassne, M. Influence of Ar ion etching on the surface topography of cemented carbide cutting inserts / M. Gassner, N. Schalk, B. Sartory, M. Pohler, Ch. Czettl, Ch. Mitterer // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2017. – Vol. 69. – Pp. 234-239. – Doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017.08.015.
7. Li, H.Z. An experimental study of tool wear and cutting force variation in the end milling of Inconel 718 with coated carbide inserts / H.Z. Li, H. Zeng, X.Q. Chen // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – Vol. 180. – Iss. 1–3. – Pp. 296-30. – Doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.07.009.
8. More, A.S. Tool wear and machining performance of cBN–TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel / A.S. More, W. Jiang, W.D. Brown, A.P. Malshe // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – Vol. 180. – Iss. 1–3. – Pp. 253-262. – Doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.06.013.
9. Randall, W. Cutting bit mount having carbide inserts and method for mounting the same // RW Ojanen - US Patent 5,251,964, 1993.
10. Roy, P. Machinability study of pure aluminium and Al–12% Si alloys against uncoated and coated carbide inserts / P. Roy, S.K. Sarangi, A. Ghosh, A.K. Chattopadhyay // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2009. – Vol. 27. – Iss. 3. – Pp.535-544. – Doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.04.008.
11. Saho, A.K. Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts / A.K. Sahoo, B. Sahoo // *Measurement*. – 2012. – Vol. 45. – Iss. 8. – Pp.2153-2165. – Doi.org/10.1016/j.measurement.2012.05.015.
12. Schramm, B.C. Tribological properties and dry machining characteristics of PVD-coated carbide inserts / B.C. Schramm, H. Scheerer, H. Hoche, E. Broszeit, E. Abele, C. Berger // *Surface and Coatings Technology*. – 2004. – Vol. 188–189. – Pp. 623-629. – Doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.067
13. Skordaris G., Bouzakis K.D., Charalampous P., Kotsanis T., Bouzakis E., Bejjani R. Bias voltage effect on the mechanical properties, adhesion and milling performance of PVD films on cemented carbide inserts / G. Skordaris, K.D. Bouzakis, P. Charalampous, T. Kotsanis, E. Bouzakis, R. Bejjani // *Wear*. – 2018. – Vol. 404–405. – Pp. 50-61. – Doi.org/10.1016/j.wear.2018.03.001.
14. Vereschaka, A. Application of finite element method (FEM) to study stress-strain state and distribution of temperatures in cutting zone in turning of various structural materials by carbide tools with coatings of various composition and architecture. / A. Vereschaka, B. Mokritskii, E. Mokritskaya, O. Sharipov, C. Sotova // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 613. – 012019. – Doi:10.1088/1757-899X/613/1/012019.
15. Vereschaka, A. Application of nanostructured Zr-ZrN-(Zr,Al)N and Zr-ZrN-(Zr,Cr,Al)N coatings for improvement of tool life and performance in end milling of carbides / A. Vereschaka, M. Oganyan, Y. Bublikov, N. Sitnikov, K. Deev, V. Pupchi, B. Mokritskii // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. Vol. 613. – 012020. – doi:10.1088/1757-899X/613/1/012020.
16. Vereschaka, A. Two-component end mills with multilayer composite nano-structured coatings as a viable alternative to monolithic carbide end mills / A. Vereschaka, B. Mokritskii, E. Mokritskaya, O. Sharipov, M. Oganyan // *Mechanics & Industry*. – 2017. – Vol. 18. – P. 705. – https://Doi.org/10.1051/meca/2017052.
17. Mokritsky, B.Ya. Tool support quality increase / B.Ya. Mokritsky, T.I. Usova, A.G. Serebrennikova // *Strengthening Technologies and Coatings*. – 2019. Vol. 15. – No.8. – pp. 381-381.
18. Mokritsky, B.Ya. Control of strengthening tool choice based on modeling in Deform software / B.Ya. Mokritsky, E.S. Sitamov, V.Yu. Vereshchagin, O.G. Shakirova // *Strengthening Technologies and Coatings*. – 2019. – No.6(174). – pp. 249-251.
19. Sitamov, E.S. Assessment of hard-alloy tool wear-resistance at stainless steel machining / E.S. Sitamov, B.Ya. Mokritsky, O. Shakirova // *Proceedings of Komsomolsk-upon-Amur State Technical University*. – 2019. – No.3(39). – pp. 109-112.
20. Mokritsky, B.Ya. Assessment of tool coating wear-resistance based on simulation / B.Ya. Mokritsky, E.S. Sitamov // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. – 2020. – No.2(151). – pp. 295-302.

Ссылка для цитирования:

Мокрицкий, Б.Я. Диагностика технологической системы резания с применением параметров силы резания / Б.Я. Мокрицкий, А.В. Морозова // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2020. – № 12. – С. 49-57. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-12-49-57.

Статья поступила в редакцию 03.07.20.

Рецензент: д.т.н., профессор Муромского филиала (института) Владимирского государственного университета,

Соловьев Д.Л.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 30.11.20.

Сведения об авторах:

Мокрицкий Борис Яковлевич, д.т.н., гл. науч. сотрудник, профессор кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел. +7 914 175 75 62, e-mail: boris@knastu.ru,

Mokritsky Boris Yakovlevich, Dr. Sc. Tech., Chief scientific assistant, Prof. of the Dep. "Mechanical Engineering", Komsomolsk-upon-Amur State University, phone: +7 914 175 75 62, e-mail: boris@knastu.ru,

Морозова Анна Валентиновна, к.соц.н, докторант специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», начальник управления Брянского государственного технического университета, тел.: +7 919 202 70 07, e-mail: niotlostu@gmail.com.

Morozova Anna Valentinovna, Can. Sc. Sociol., Doctoral student in specialty "Automation of Engineering Processes and Production", Chief of the Dep. of Bryansk State Technical University, phone: +7 919 202 70 07, e-mail: niotlostu@gmail.com.