

УДК 621.941.01

DOI 10.22213/2410-9304-2018-3-12-16

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ
НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ЧЕРНОВОГО ТОЧЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

С. В. Жилиев, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова,
Ижевск, Россия

С. Д. Кугультинов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова,
Ижевск, Россия

И. В. Попов, АО «Воткинский завод», г. Воткинск, Россия

В статье отмечены трудности, возникающие в процессе механической обработки резанием титановых сплавов, и рассмотрены вопросы рационального выбора режущего инструмента, оснащенного сменными многогранными неперетачиваемыми пластинами (СМП) из твердого сплава, для чернового точения деталей из титанового сплава ВТ6, на основании оценки эффективности его работы и стоимости. Оценка эффективности производилась на основании показателей, определяющих их стойкость. С этой целью были проведены сравнительные стойкостные испытания СМП отечественного и зарубежного производства. Стойкостные испытания проводились в производственных условиях АО «Воткинский завод». В качестве критерия был выбран износ по задней грани за строго определенное время. По итогам проведенных испытаний было выявлено, что наименьшее изнашивание продемонстрировали СМП SNMM 250724MR 2025 фирмы Sandvik Coromant. Пластины SNMM 250724 E-NR2 H05 фирмы Pramet примерно на 10 % изнашивались меньше их аналогов Кировоградского завода твердых сплавов SNMM 250724 RI AP20TM и SNMM 250724 RI TP20TM. Сравнение их по стоимости показало, что наименьшей цену имеют пластины отечественного производства, и их цена почти в три раза ниже лидера производственных испытаний. По итогам работы и исходя из соотношения цена – качества для производства были рекомендованы СМП Кировоградского завода твердых сплавов.

Ключевые слова: титановые сплавы, токарные резцы, неперетачиваемые пластины, черновое точение, производительность.

Введение

Для современного производства характерно достаточно широкое использование титановых сплавов, особенно это касается предприятий авиационной и ракетно-космической отрасли, которые используют для изготовления силовых конструкций летательных аппаратов. Их применение обусловлено малым удельным весом при достаточно высоком уровне физико-механических свойств и способностью эффективно противостоять коррозии при относительно невысоких температурах [1, 2]. Высокая прочность деталей из титановых сплавов вызывает значительные трудности при их механической обработке резанием. Так, коэффициент обрабатываемости титанового сплава ВТ6 в три раза ниже стали 45 [3]. Особенно это проявляется при обработке крупногабаритных деталей, когда время обработки одной поверхности может превышать восемь часов [4, 5]. В этих условиях стойкости режущего инструмента практически не хватает для обработки этой поверхности полностью. Это приводит к тому, что процесс обработки резанием приходится останавливать и менять режущий инструмент, а в некоторых случаях приходится вводить дополнительные технологические переходы для удаления сту-

пеньки, возникшей в результате смены инструмента, а это в значительной степени увеличивает трудоемкость и затраты на изготовление деталей. Причем эти проблемы усугубляются из-за того, что для изготовления крупногабаритных деталей используется устаревшее оборудование, не имеющее системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), инструментами в которых режущие пластины из твердого сплава закрепляются с помощью пайки. Аналогичные трудности присущи и другим промышленным предприятиям авиационной и ракетно-космической отрасли при токарной обработке крупногабаритных деталей из титановых сплавов [6]. Таким образом, задача повышения эффективности чернового точения крупногабаритных деталей из таких сплавов является задачей весьма актуальной.

Основная часть

Повысить эффективность чернового точения титановых сплавов можно путем использования:

- 1) высокопроизводительного оборудования;
- 2) высокоэффективных СОЖ;
- 3) современного режущего инструмента.

Первый путь сопряжен с большими капитальными затратами и для многих предприятий

оборонной промышленности пока затруднительный. Второй путь менее привлекателен для предприятий, так как требует модернизации металлорежущего оборудования для применения жидких СОЖ, а этот вариант хоть и менее затратный по сравнению с первым, но очень длителен по времени его реализации. Применение в качестве охлаждающей среды воздуха [7] в значительной степени снизит затраты на модернизацию оборудования, но при повышенных температурах титан начинает активно взаимодействовать с азотом, кислородом, углеродом и водородом, что приводит к образованию с ним соединений, которые обладают высокой твердостью, что ускорит абразивный износ режущего инструмента [8].

Существенное повышение производительности при черновой обработке резанием может быть получено при использовании современного режущего инструмента. Последний путь наименее затратный, для его реализации не требуется значительного объема времени и поэтому является наиболее перспективным, но при этом актуальным становится вопрос о его рациональном выборе.

Традиционно предприятия для выполнения операций чернового точения титанового сплава ВТ6 используют резцы с напаянными пластинами из твердого сплава ВК8. Их применение обусловлено тем, что это рекомендовано в литературных источниках [9], инструмент достаточно дешевый, и запасы его на многих предприятиях еще достаточно велики. Применение современного режущего инструмента с многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава, как считают технологические службы предприятий, возможно только для полустойкой и чистой обработки, так как он намного дороже существующего и имеет более высокое качество. При этом инструменты, оснащенные СМП, имеют более высокие показатели стойкости при одинаковых режимах резания, а следовательно, можно интенсифицировать процесс механической обработки резанием за счет их увеличения.

В настоящее время на отечественном рынке режущего инструмента представлены различные производители от известных мировых брендов, например шведская фирма Sandvik Coromant, менее известная Pramet из Чехии и отечественные производители. Так, Кировоградский завод твердых сплавов после своей реконструкции стал производить режущий инструмент и заготовки для него по той же технологии, которые используют мировые произво-

дители [10]. Поэтому у потребителей их продукции встает вполне закономерная процедура выбора резцов с СМП из твердых сплавов с износостойкими покрытиями из того многообразия, которые они предлагают. Если они еще раскрывают состав износостойких покрытий, то закрытость химического состава основы пластин затрудняет процесс их выбора. При практическом использовании режущего инструмента выясняется, что рекомендации по назначению режимов резания не всегда корректны. При обработке труднообрабатываемых материалов он показывает прекрасные результаты, а при обработке титановых сплавов результат может быть и отрицательный. Это вызвано тем, что область применения титановых сплавов весьма ограничена и не позволяет производителям проводить полноценные исследования по механической обработке резанием новых инструментальных материалов и износостойких покрытий, применяемых для повышения стойкости инструмента. Кроме того, СМП иностранного производства имеют более высокую стоимость по сравнению с отечественными аналогами, и, естественно, выбор потребителем продукции того или иного производителя не всегда рационален.

Методика выбора СМП для операций механической обработки резанием приведена в работе [11]. Она базируется на основе взаимосвязи себестоимости обработки с характеристиками $T-Q$ -процесса резания. Согласно работе [12] $T-Q$ -характеристики позволяют оценивать работоспособность инструмента и служить показателями обрабатываемости материала. Исходя из кривой $T-Q$ можно назначить такое сочетание параметров процесса резания, при котором можно обеспечить максимальную скорость съема обрабатываемого материала. Но данная методика практически построена на аналитических зависимостях и практически не учитывает реальные условия обработки.

В работе [13] авторы дают рекомендации по выбору СМП для чернового растачивания и точения крупногабаритных деталей из титановых сплавов путем проведения сравнительных стойкостных производственных испытаний. В отличие от первой методики эта методика более понятна потребителям режущего инструмента. Основным показателем при принятии решения о выборе СМП является стойкость инструмента, которая может выражаться во временных значениях или количеством обработанных деталей. Это комплексный показатель, который в целом характеризует качество любого инструмента. Другой по важности показатель – это стоимость

СМП. Сопоставление этих двух показателей в значительной степени облегчает выбор СМП для чернового точения. Недостатком данной методики является то, что проведение стойкостных сравнительных испытаний – это весьма затратный и длительный процесс, а полученные в этой статье авторами результаты имеют не очень высокую достоверность, так как испытания проводились на малом объеме выборки.

Исходя из сказанного, данная работа была направлена на повышение эффективности чернового точения деталей из титанового сплава ВТ6 за счет рационального выбора инструмента с СМП. Для этого были проведены экспериментальные стойкостные испытания токарных резцов с СМП отечественного и зарубежного производства в производственных условиях.

Стойкостные испытания резцов с СМП проводились в производственных условиях при обработке серийных деталей из титанового сплава ВТ6 при черновом точении на токарно-кару-

сельных станках модели 1525Ф1, так как лабораторные испытания проводить экономически нецелесообразно из-за высокой стоимости заготовок из титановых сплавов. Для проведения сравнительных стойкостных испытаний были подобраны детали, параметры обрабатываемых поверхностей которых обеспечивали одинаковые условия обработки по режимам резания и снимаемому припуску.

Экспериментальные исследования проводились с использованием сборных токарных резцов, состоящих из державки PSSNR 5050 R25 и СМП, перечень которых представлен в табл. 1. С целью повышения производительности чернового точения титановых сплавов режимы резания были увеличены примерно в 2 раза по отношению к существующим (в качестве базы для сравнения были взяты режимы резания при использовании резцов с напаянными пластинами) и были установлены следующие: $S_o = 0,35$ мм/об, $V = 17$ м/мин, $t = 7$ мм.

Таблица 1. Наименование СМП, подвергнутых стойкостным испытаниям

№ п/п	Наименование пластины	Производитель	Покрытие
1	SNMM 250724 R1 AP20TM	Кировоградский завод твердых сплавов	Ti-Al-N
2	SNMM 250724 R1 TP20TM		
3	SNMM 250724 R1 AP30TM		
4	SNMM 250724 R1 BP20TM		
5	SNMM 250724 E-NR2 H05	Pramet	Нет данных
6	SNMM 250724MR 2025	Sandvik Coromant	Нет данных

При испытании резцов с вышеперечисленными СМП было установлено, что при заданных режимах обработки все пластины обеспечили стойкость, сопоставимую со стойкостью базовых резцов, и показали вполне удовлетворительную работу. Средняя величина износа по задней грани составляла от 0,33 до 0,59 мм. Наблюдалось образование лунок на передней поверхности глубиной до 0,3 мм и шириной до 1,6 мм.

Результаты стойкостных производственных испытаний представлены в табл. 2. Лучшие результаты показали СМП фирмы Sandvik Coromant. Однако пластины Кировоградского завода твердых сплавов (позиции № 4 и 5) и фирмы «Pramet» (позиция № 2) показали результаты по сравнению с первой вполне приемлемые. Указанные пластины работали мягко, и след обработанной поверхности практически не менялся на протяжении всей обработки.

Таблица 2. Результаты стойкостных испытаний

№ пп.	Наименование пластины	Производитель	Величина износа h_z , мм.	Стоимость, * руб.
1	SNMM 250724MR 2025	Sandvik Coromant	0,33	1700
2	SNMM 250724 E-NR2 H05	Pramet	0,39	980
3	SNMM 250724 R1 AP30TM	Кировоградский завод твердых сплавов	0,51	790
4	SNMM 250724 R1 TP20TM		0,44	790
5	SNMM 250724 R1 AP20TM		0,42	790
6	SNMM 250724 R1 BP20TM		0,59	790

* Цены на 2017 г.

Выводы

Исходя из проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

– резцы с СМП при стойкости, сопоставимой со стойкостью резцов с напайными резцами, позволяют работать с более высокими режимами резания, что повышает производительность обработки примерно в 2 раза;

– исходя из соотношения цена – качество для чернового точения деталей из титановых сплавов можно рекомендовать СМП SNMM 250724 R1 AP20TM и SNMM 250724 R1 TP20TM Кировоградского завода твердых сплавов.

Библиографические ссылки

1. Белый А. В., Карпенко Г. Д., Мышкин Н. К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. М. : Машиностроение, 1991. 208 с.

2. Повышение эффективности обработки резанием заготовок из титановых сплавов / Н. С. Жучков, П. Д. Беспехотный, А. Д. Чубаров, Л. А. Сивориновский, В. Н. Ботяшин. М. : Машиностроение, 1989. 152 с.

3. Кугультинов С. Д., Ковальчук А. К., Портнов И. И. Технология обработки конструкционных материалов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2010. 678 с.

4. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, В. И. Захаров, Н. Л. Зимица, О. А. Пленина, Ю. Я. Прохоров, А. Н. Соломахин. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1986. 240 с.

5. Резников Н. И., Бурмистров Е. В., Жарков И. Г. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. М. : Машиностроение, 1972. 200 с.

6. Илларионов А. Г., Попов А. А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 137 с.

7. Вылегжанин Д. Г. Охлаждение воздухом при обработке резанием // Новый университет. 2013. № 10. С. 74–76.

8. Кривоухов В. А., Чубаров А. Д. Обработка резанием титановых сплавов. М. : Машиностроение, 1970. 180 с.

9. Там же. С. 160.

10. Кировоградский завод твердых сплавов. URL: <http://www.kzts.ru> (дата обращения: 31.03.2018).

11. Свирищев В. И., Флегентов В. К., Подборнов И. В., Савлов А. Н. Технико-экономическое обоснование выбора режущей пластины сборного режущего инструмента при обработке элементарных поверхностей детали // СТИН. 2013. № 12. С. 14–17.

12. Параметрическая оптимизация методов механической обработки материалов на основе Т-Q характеристик процесса резания / В. И. Свирищев, С. В. Тарасов, А. Н. Савлов, И. М. Кузьминок // Из-

вестия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 4. С. 27–32.

13. Жиляев С. В., Кугультинов С. Д., Попов И. В. Повышение эффективности чернового точения деталей из титановых сплавов // Интеллектуальные системы в производстве. 2012. № 1. С. 104–107.

References

1. Belyi A. V., Karpenko G. D., Myshkin N. K. *Struktura i metody formirovaniya iznosostoikikh poverkhnostnykh sloev* [Structure and methods of formation of wear-resistant surface layers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991 (in Russ.).

2. Zhuchkov N. S., Bepakhotnyi P. D., Chubarov A. D., Sivorinovskii L. A., Botyashin V. N. *Povyshenie effektivnosti obrabotki rezaniem zagotovok iz titanovykh spлавov* [Improving the efficiency of machining of titanium alloys blanks]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1989 (in Russ.).

3. Kugul'tinov S. D., Koval'chuk A. K., Portnov I. I. *Tekhnologiya obrabotki kon-struksionnykh materialov* [Processing technology of structural materials]. Moscow, MGТУ im. Baumana, 2010 (in Russ.).

4. Gurevich Ya. L., Gorokhov M. V., Zakharov V. I., Zimina N. L., Plenina O. A., Prokhorov Yu. Ya., Solomakhin A. N. *Rezhimy rezaniya trudnoobrabatyvaemykh materialov: Spravochnik* [Cutting conditions of hard-to-process materials: Reference]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986 (in Russ.).

5. Reznikov N. I., Burmistrov E. V., Zharkov I. G. *Obrabotka rezaniem zharoprochnykh, vysokoprochnykh i titanovykh spлавov* [Cutting of heat-resistant, high-strength and titanium alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972 (in Russ.).

6. Illarionov A. G., Popov A. A. *Tekhnologicheskie i ekspluatatsionnye svoystva titanovykh spлавov: uchebnoe posobie* [Technological and operational properties of titanium alloys: tutorial]. Ekaterinburg: Ural. University Publ., 2014 (in Russ.).

7. Vylegzhanin D. G. [Air cooling during machining]. *Novyi universitet*, 2013, no 10, pp. 74-76 (in Russ.).

8. Krivoukhov V. A., Chubarov A. D. *Obrabotka rezaniem titanovykh spлавov* [Cutting of titanium alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970 (in Russ.).

9. Ibid. P. 160.

10. Kirovogradskii zavod tverdyykh spлавov [Kirovograd plant of hard alloys]. Available at: <http://www.kzts.ru> (accessed March 31, 2018) (in Russ.).

11. Svirshchev V.I., Flegentov V.K., Podbornov I.V., Savlov A.N. [Feasibility study of the selection of the cutting insert of the cutting tool for processing the elementary surfaces of the part]. *STIN*, 2013, no. 12, pp. 14-17 (in Russ.).

12. Svirshchev V. I., Tarasov S. V., Savlov A. N., Kuz'minok I. M. [Parametric optimization of methods for machining materials based on T-Q characteristics of the cutting process] *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2017, vol. 19, no. 4, pp. 27-32 (in Russ.).

13. Zhilyaev S. V., Kugul'tinov S. D., Popov I. V. [Intelligent systems in production], 2012, no 1. pp. 104-107 (in Russ.). [Increase in efficiency of rough turning of details from titanium alloys]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*

Rational Choice of Multi-Faceted Replaceable Profile Inserts for Rough Turning of Details Made of Titanium Alloy VT6

A. S. Zhilyaev, Deputy head technologist, JSC «Izhevsk electromechanical plant «Kupol»

S. D. Kugultinov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

A. V. Shchenyatskii, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

I. V. Popov, Deputy head technologist JSC «Votkinsky plant»

The paper notes the difficulties encountered in the machining process by cutting titanium alloys and examines the rational selection of a cutting tool equipped with replaceable multi-sided non-transferable plates (SMPs) from hard alloys for rough turning of parts made of titanium alloy VT6, based on an assessment of the effectiveness of its work and cost. The effectiveness was evaluated on the basis of indicators that determine their resistance. For this purpose, comparative stability tests of the NSR of domestic and foreign production were carried out. Steady tests were carried out in production conditions of JSC "Votkinsky Plant". As a criterion, wear was selected for the back edge at a strictly defined time. Based on the results of the tests, it was revealed that the smallest wear was demonstrated by SMP SNMM 250724MR 2025 by Sandvik Coromant. The SNMM 250724 E-NR2 H05 plates from Pramet were about 10% less wearable than their counterparts in the Kirovograd hard alloy plant SNMM 250724 RI AP20TM and SNMM 250724 RI TP20TM. Their comparison by cost showed that the lowest price was produced by domestic plates and their price was almost three times lower than the leader of production tests. Based on the results of the work and based on the price-quality ratio for production, the SME of the Kirovograd plant of hard alloys was recommended.

Keywords: titanium alloys, lathe tool, turning chisels, rough cutting, performance.

Получено: 22.06.18