УДК 621.941.1

Повышение эффективности применения твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок на деталях ракетно-космической техники

© С.В. Грубый[1], Л.А. Татарова[2], Е.В. Воробьева[2]

[1] МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия
[2] ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», г. Королев, 141070, Московская область, Россия

Представлены результаты технологических испытаний твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок на деталях ракетно-космической техники. По результатам расчетов и анализа установлено, что напряженное состояние режущей части резцов характеризуется растягивающими напряжениями, значения которых в отдельных узлах приближаются к пределу прочности твердого сплава. Изменение геометрических параметров режущей части резцов, в частности увеличение переднего угла и высоты, позволяет значительно повысить их прочность. По результатам исследований разработаны технологические рекомендации и внедрены в производство деталей ракетно-космической техники канавочные твердосплавные резцы.

Ключевые слова: *торцевые канавки, твердосплавные резцы, критерии прочности, геометрические параметры, коэффициент запаса, режимы резания.*

Введение. Современные изделия ракетно-космической техники (РКТ) содержат большое число машиностроительных деталей различной конфигурации и типоразмеров, для обработки которых используют режущие инструменты прогрессивных конструкций. В частности, на деталях типа клапанов, валов, корпусов, представляющих собой тела вращения, торцевые канавки обрабатывают цельными, составными или сборными твердосплавными резцами. Эти детали изготавливают из материалов трех групп — коррозионно-стойких сталей, алюминиевых сплавов, титановых сплавов. Основной проблемой при обработке торцевых канавок является поломка инструмента, что приводит к повышенному расходу канавочных резцов, увеличению затрат на инструмент, а в ряде случаев и к неустранимому браку обрабатываемой детали.

Целью проведенных технологических исследований было испытание и внедрение в производство твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок на деталях РКТ в условиях производства ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия».

Задачи исследований таковы.

1. Выбрать твердосплавные резцы для обработки торцевых канавок из имеющихся на рынке металлорежущего инструмента и предназначенных для обработки деталей из типовых обрабатываемых материалов.

2. Провести производственные испытания твердосплавных резцов для проверки рекомендованных режимов резания.

3. Разработать расчетную методику и выполнить проверочный прочностной расчет твердосплавных резцов.

4. Выбрать геометрические параметры режущей части и разработать резцы повышенной прочности для изготовления в инструментальном производстве предприятия.

Обзор твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок малых диаметров был проведен по каталогам инструментальных фирм Iscar, SANDVIK Coromant, SimTec, Paul HORN, Carmex, WIDIA, DENITOOL.

По результатам анализа для обработки торцевых канавок малых диаметров на деталях РКТ были выбраны цельные твердосплавные резцы фирмы Carmex [1]. Резцы этой фирмы хорошо зарекомендовали себя в условиях производственной эксплуатации на станках с ЧПУ и представлены в каталоге — ограничителе токарного инструмента ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия».

Твердосплавные резцы сборных конструкций для обработки торцевых канавок больших диаметров изготавливают инструментальные фирмы Iscar, SANDVIK Coromant, SECO, Walter, Kemmer, Mitsubishi и др. Для подбора твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок больших диаметров на деталях РКТ выбрана фирма Kemmer [2]. Эта фирма специализируется на токарном инструменте для отрезных и канавочных операций, и резцы фирмы хорошо зарекомендовали себя в условиях производственной эксплуатации на предприятии.

1. Анализ номенклатуры деталей с торцевыми канавками и выбор твердосплавных резцов. Перед подбором твердосплавных резцов был проведен анализ номенклатуры деталей РКТ с торцевыми канавками. Для подбора резцов были выбраны детали из типовых обрабатываемых материалов — коррозионно-стойких сталей, алюминиевых сплавов, титанового сплава.

Примеры торцевых канавок на деталях РКТ приведены на рис. 1.

Обобщенный эскиз торцевой канавки показан на рис. 2. Размеры торцевых канавок выбранных деталей, для которых был подобран инструмент, приведены в табл. 1.

Цельные твердосплавные резцы фирмы Carmex с внутренним подводом смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) по двум каналам были выбраны из серий MFL Bars и MVR Bars. Резцы выполнены из твердого сплава марки ВХС (группы применения Р30–Р50, К25–К40) с PVD-покрытием из нитрида титана TiN. Рекомендуемая подача 0,01 … 0,03 мм/об.

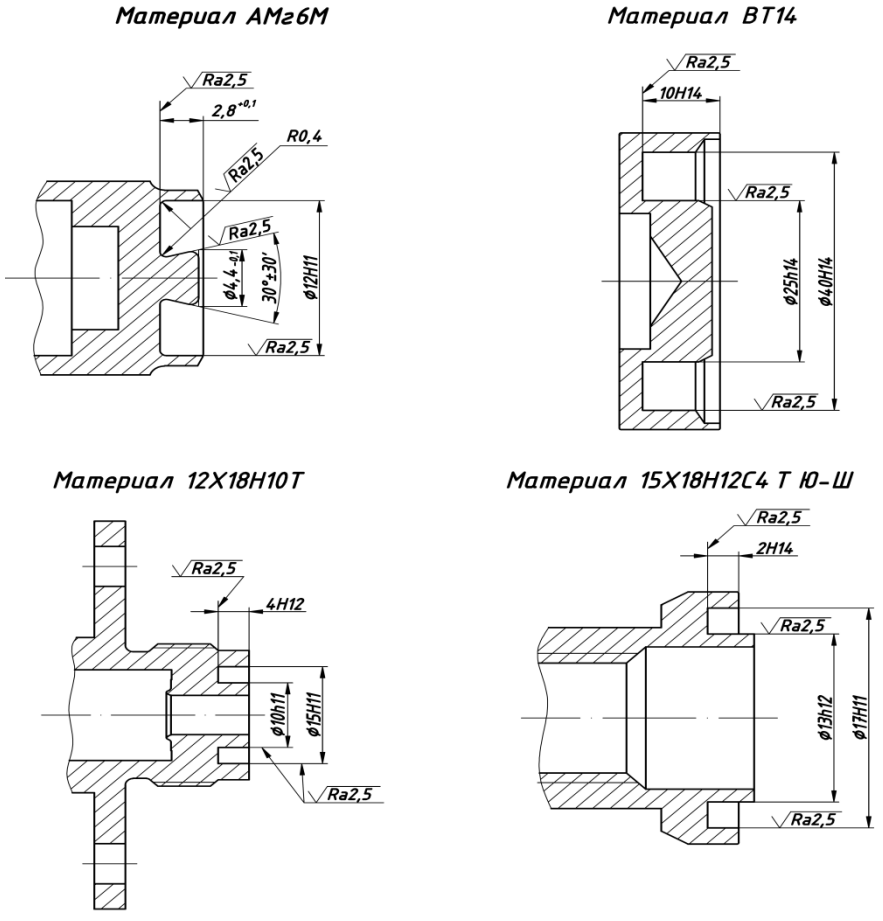


Рис. 1. Торцевые канавки на деталях из различных материалов

Инструмент фирмы Kemmer был представлен сборными резцами. Выбрана державка для обработки торцевых канавок и сменная пластина CTDS 302 из твердого сплава марки PM с многослойным покрытием NANOSPEED (нанокомпозит TiAlN + TiN).

Характеристики выбранных инструментов приведены в табл. 2.

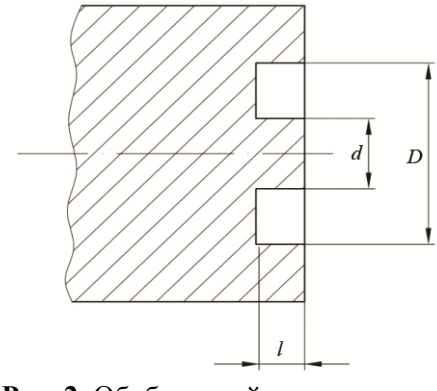


Рис. 2. Обобщенный эскиз торцевой канавки

Таблица 1

Характеристики торцевых канавок (размеры — см. рис. 1)

№ п/п	Обрабатываемый материал	*d*, мм	*D*, мм	*l*, мм
1	АВТ1	$3{,}8_{-0{,}3}$	$9{,}8_{(+0{,}4)}$	$2{,}8_{(+0{,}4;\,-0{,}2)}$
2	АВТ1	14,5h12	27,5H11	17H12
3	15Х18Н12С4ТЮ-Ш	13h12	17H11	2H14
4	07Х21Г7АН5-Ш	$6_{-0{,}2}$	$12_{(+0{,}3)}$	1,5±0,3
5	12Х18Н10Т	10h11	15H11	3,8±0,2
6	07Х16Н6-Ш	$4_{-0{,}2}$	10(+0,3)	2,5±0,3
7	АМг6М	$4{,}4_{-0{,}1}$	12H11	2,8±0,1
8	ВТ14	25h14	40H14	10H14

Таблица 2

Твердосплавные резцы и обрабатываемые материалы

№ п/п	Обозначение	Фирма-производитель	Обрабатываемый материал
1	Резец MFL6 B2.5 L22 BXC Оправка SIM 0020 H8	Carmex	АВТ1, 12Х18Н10Т
2	Резец MVR8 B3.0 L27 BXC Оправка SIM 0020 H8	»	АВТ1
3	Резец MFL6 B2.0 L22 BXC Оправка SIM 0020 H6	»	15Х18Н12С4ТЮ-Ш
4	Резец MFL8 B2.5 L22 BXC Оправка SIM 0020 H8	»	АМг6М, 07Х16Н6-Ш, 07Х21Г7АН5-Ш
5	Державка P92-2-CXCBR2020K30-30 Пластина CTDS 302 PM NANOSPEED	Kemmer	ВТ14

2. Производственные испытания канавочных твердосплавных резцов. Испытания твердосплавных резцов проведены в производственных условиях ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия» на токарных станках с ЧПУ СТП-220 и Nakamura-Tome SC-300 с применением СОЖ. Были испытаны резцы, представленные в табл. 2, на заготовках, размеры торцевых канавок которых приведены в табл. 1. В качестве примера на рис. 3 показана фотография резца в револьверной головке токарного центра Nakamura-Tome SC-300. Фотография обработанной торцевой канавки приведена на рис. 4.

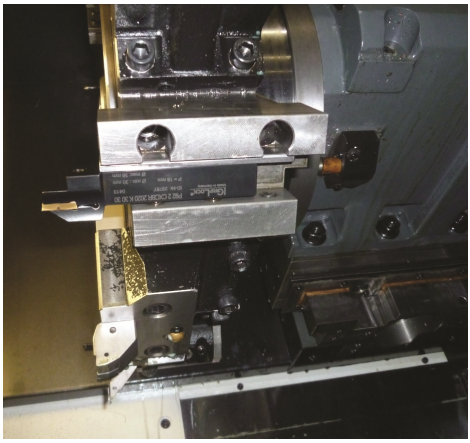


Рис. 3. Канавочный резец в револьверной головке токарного станка

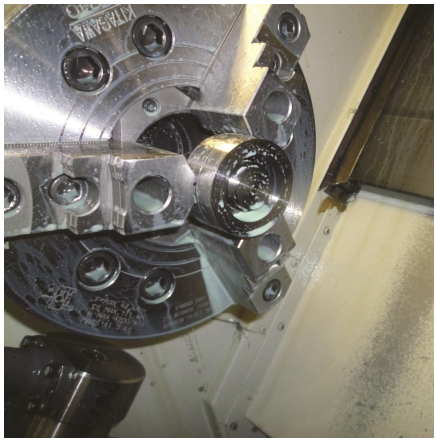


Рис. 4. Заготовка с обработанной торцевой канавкой

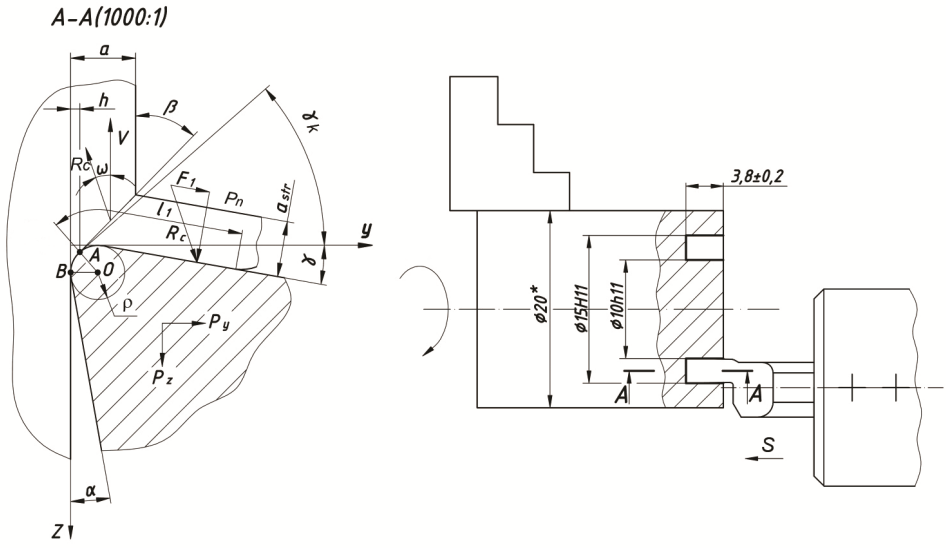
Условия испытаний при обработке заготовки (см. рис. 4): материал заготовки — титановый сплав ВТ14, инструмент — см. табл. 2, п. 5, режимы резания: подача S = 0,1 мм/об, скорость резания V = 37,7 м/мин, частота вращения шпинделя n = 300 об/мин.

По результатам проведенных испытаний сделаны выводы о том, что резцы работоспособны, резание происходит без вибраций, визуальная оценка качества обработанных поверхностей подтверждает соответствие требованиям. При производственных испытаниях поломки канавочных резцов не отмечены. Вместе с тем в практике использования резцов в цеховых условиях поломки имеют место, что указывает на необходимость прочностного расчета.

3. Методика проверочного расчета твердосплавных резцов на прочность. *Расчет сил резания, действующих на резец при обработке торцевой канавки.* Выполнен с использованием средних касательных напряжений в условной плоскости сдвига по методике, изложенной в работах С.В. Грубого [3, 4]. Расчетная методика проверена применительно к различным видам механической обработки и инструментам (например, концевое фрезерование, прецизионное точение резцами из нитрида бора BN и природного алмаза [5–7]).

Схема распределения сил на режущем клине резца для обработки торцевых канавок показана на рис. 5. Лезвие резца имеет радиус округления режущей кромки ρ с центром в точке O. Точка B является последней точкой контакта резца с обрабатываемым материалом (α – заданный угол). Длина контакта стружки с передней поверхностью резца составляет l_1. Точка A разделяет толщину среза a на стружку толщиной a_{str} и деформированный поверхностный слой

толщиной h. Точке A соответствует отрицательный передний угол γ_k. На передней поверхности резца со стороны стружки действуют силы: нормальная P_n и касательная (трения) F_1.



а *б*

Рис. 5. Схема расчета сил (*а*) и заготовки с обработанной торцевой канавкой (*б*)

Для расчета были приняты следующие исходные данные:

• обрабатываемый материал — коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т, модуль упругости $E_1 = 1{,}98 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu_1 = 0{,}27$, предел прочности на растяжение $\sigma_{в1} = 600$ МПа;

• инструментальный материал — твердый сплав марки ВК8, модуль упругости $E_2 = 5{,}7 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu_2 = 0{,}23$, предел прочности на растяжение $\sigma_{в2} = 900$ МПа, предел прочности на сжатие $\sigma_{-в2} = 3200$ МПа (значения пределов прочности заимствованы из [8] для температуры резания $\theta \approx 200...300$ °С);

• режимы резания при обработке торцевой канавки были приняты в соответствии с рекомендациями инструментальной фирмы: глубина резания (ширина канавки) t = 2,5 мм, подача S = 0,02 мм/об, скорость резания V = 28,3 м/мин.

Угол сдвига β является углом между направлением вектора скорости и плоскостью сдвига. Его рассчитывают по формуле, в которой

учитываются параметры срезаемого слоя и упругие свойства обрабатываемого и инструментального материалов:

$$\beta = \mathrm{arctg}\left(\frac{\cos\gamma + \sin\gamma}{1{,}08\sqrt[4]{\eta_0(E_1 b/a)} + \cos\gamma - \sin\gamma}\right),$$

где $\eta_0 = (1-\mu_1^2)/E_1 + (1-\mu_2^2)/E_2$ — упругая составляющая двух соприкасающихся тел (стружка — инструмент); b = 2,5 мм — ширина срезаемого слоя; a = 0,02 мм — толщина срезаемого слоя; $\gamma = 0$ — передний угол резца.

Результирующая сила стружкообразования направлена под углом действия ω к вектору скорости резания и определена через касательное напряжение в плоскости сдвига τ_p:

$$R_c = \frac{\tau_p ab}{\sin\beta\cos(\beta+\omega)}. \qquad (1)$$

Угол действия ω связан с углом сдвига β выражением $\omega = \pi/4 - \beta + \omega_0$, где $\omega_0 = \mathrm{arctg}\left(\frac{\mathrm{tg}\,(\beta-\gamma)}{\mathrm{tg}\,(\beta-\gamma)+2}\right)$ — поправка, принятая по Ю.А. Розенбергу.

Касательное напряжение в плоскости сдвига τ_p для коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т определено по выражению, заимствованному из работы [9]: $\tau_p = 1{,}3\sigma_{в1}$.

Силы на передней поверхности инструмента рассчитаны на основе геометрических соотношений:

- касательная $F_1 = R_c \sin(\omega+\gamma)$;
- нормальная $P_n = R_c \cos(\omega+\gamma)$.

Длина контакта стружки с передней поверхностью принята равной: $l_1 = 2a/\sin\beta$.

Принимая гипотезу о том, что максимальное значение контактного давления вдоль всей режущей кромки одинаково, это значение можно выразить через нормальную силу на передней поверхности и площадь контакта:

$$\sigma_m = \frac{P_n(n_1+1)}{l_1 b} = \frac{P_n}{l_1 b}. \qquad (2)$$

Принято, что параметр $n_1 = 0$, т. е. контактное нормальное давление на передней поверхности резца, распределено по прямоугольной эпюре.

Расчетные значения P_n, l_1, σ_m в зависимости от толщины *a* срезаемого слоя приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения параметров в зависимости от толщины *a* срезаемого слоя

Параметр	*a*, мм				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Сила нормальная P_n, Н	235,2	425,3	603,8	775,8	943,4
Длина контакта l_1, мм	0,197	0,346	0,484	0,614	0,739
Контактное давление σ_m, МПа	477,5	490,9	499,3	505,3	510,7

Критерий прочности материала твердосплавных резцов. Анализ механизма разрушения инструментальных материалов показывает, что в соответствии с принципами механики сплошной среды состояние материала в точке разрушения полностью зависит от уровня действующих напряжений. Наступление предельного состояния определяется механизмом возникновения трещин, тесно связанным с касательными напряжениями, а распространение трещин связано с нормальными растягивающими напряжениями, поэтому общий критерий прочности инструментального материала должен быть таким, чтобы учитывалось действие обоих механизмов разрушения.

Для оценки предельного состояния хрупкого материала твердосплавного резца рассмотрен критерий предельного состояния, предложенный Г.С. Писаренко и А.А. Лебедевым, а также критерий Мора — Кулона.

Критерий предельного состояния Г.С. Писаренко и А.А. Лебедева состоит из двух слагаемых: первое определяется значением пластической деформации и характеризует условие зарождения трещины, второе характеризует развитие и распространение трещины [8]:

$$\sigma_{\text{экв}} = \chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1 A^{1-J} \le \sigma_{\text{в}}, \qquad (3)$$

где $\sigma_{экв}$ — эквивалентное напряжение; $\chi = \sigma_{в2}/\sigma_{-в2}$ — параметр, определяющий долю сдвиговой деформации в разрушении, (для реальных материалов $0 < \chi < 1$); σ_i — интенсивность напряжения; A — константа, определяющая статистическую природу процесса разрушения и зависящая от характера имеющихся в материале дефектов (для твердых сплавов группы WC–Co можно принять $A = 0,8$); $J = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/\sigma_i$ — параметр, характеризующий «жесткость» нагружения.

Интенсивность напряжения определена по известным соотношениям:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения $(\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3)$.

С учетом приведенных выше свойств инструментального твердого сплава выражение (3) примет вид

$$\sigma_{экв} = 0,28\sigma_i + 0,72\sigma_1 0,8^{1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}} \leq \sigma_{в2}. \qquad (4)$$

Коэффициент запаса прочности $k_1 = \sigma_{в2}/\sigma_{экв}$.

Критерий Мора — Кулона (критерий внутреннего трения) основан на предположении, что прочность материала в общем случае напряженного состояния зависит главным образом от значения и знака наибольшего σ_1 и наименьшего σ_3 главных напряжений. Исходя из этого предположения, можно считать, что коэффициент запаса прочности при условии $\sigma_1 > 0$, $\sigma_3 > 0$ будет равен $k_2 = \sigma_{в2}/\sigma_1$.

Результаты расчета твердосплавных резцов на прочность. Для расчета на прочность была создана 3D-модель резца по разработанному чертежу, показанному на рис. 6. Конструктивные размеры назначены с учетом размеров твердосплавного резца MFL 6B2.5 L22 фирмы Carmex. Резец имеет плоскую переднюю поверхность, передний угол $\gamma = 0$.

Исходная расчетная схема нагружения твердосплавного резца представлена на рис. 7. Модель резца нагружена контактным давлением σ_m, действующим со стороны передней поверхности на контактной площадке l_1.

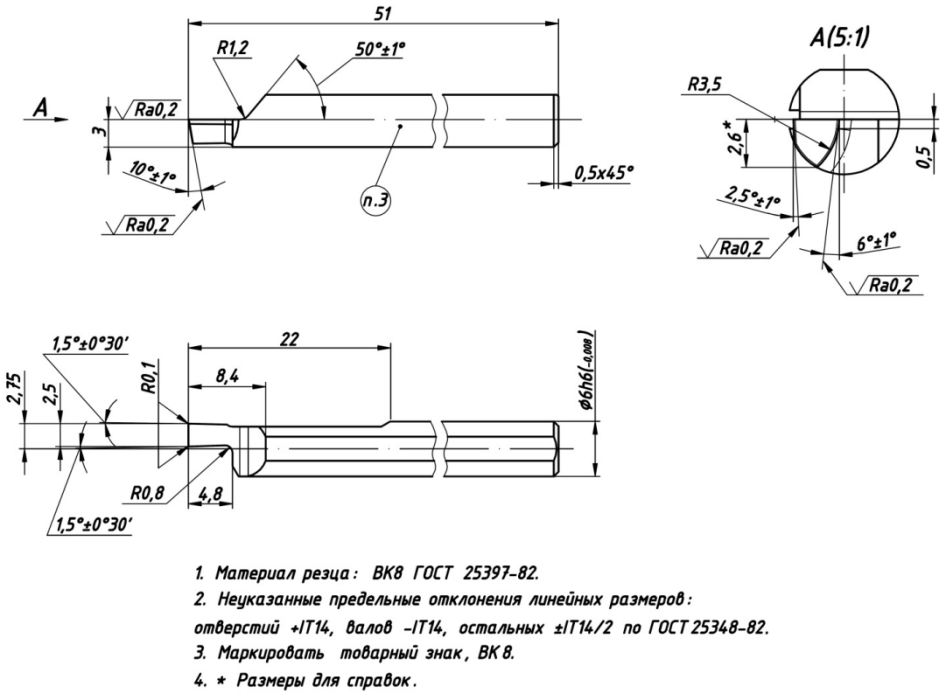


Рис. 6. Цельный твердосплавный резец для обработки торцевой канавки

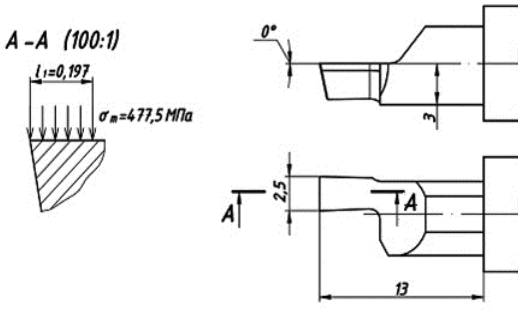


Рис. 7. Исходная расчетная схема нагружения твердосплавного резца

Расчет твердо-сплавного резца на прочность проведен с применением конечно-элементного программного комплекса ANSYS. При расчете в ANSYS предусмотрено определение опасных точек на модели резца, в которых главные напряжения имеют наибольшие значения. Графическое представление результатов расчета в виде контуров главных напряжений в узлах модели резца приведено на рис. 8.

Согласно результатам расчета, на модели твердосплавного резца первые главные напряжения имеют наибольшее значение в узле 8470, вторые и третьи главные напряжения — соответственно в узлах 18800 и 20243.

Значения главных напряжений в узлах, где главные напряжения максимальны, а также рассчитанные по критериям прочности коэффициенты запаса представлены в табл. 4.

Согласно рассчитанным значениям, узел 8470 имеет недостаточный коэффициент запаса прочности, что может привести к поломке резца при обработке канавки в производственных условиях. Чтобы этого избежать, можно рекомендовать использовать инструментальный твердый сплав с большим пределом прочности. Современные субмикронные твердые сплавы имеют размер зерна карбидной фазы 0,5…1,2 мкм и повышенные прочностные характеристики [10]. В источниках отмечено, что для этих сплавов фактический предел прочности при растяжении может быть в 2–3 раза выше, чем для сплава марки ВК8.

Очевидно, что недостаточный коэффициент запаса прочности выбранного твердого сплава ВК8 не обеспечивает надежность конструкции твердосплавного резца, поэтому были разработаны чертеж и 3D-модель твердосплавного резца с другой геометрией режущей части: передний угол $\gamma = 10°$, высота режущей части резца увеличена до 3,2 мм (рис. 9). Расчетные значения параметров P_n, l_1 и σ_m в зависимости от толщины a срезаемого слоя для измененного варианта геометрии режущей части приведены в табл. 5.

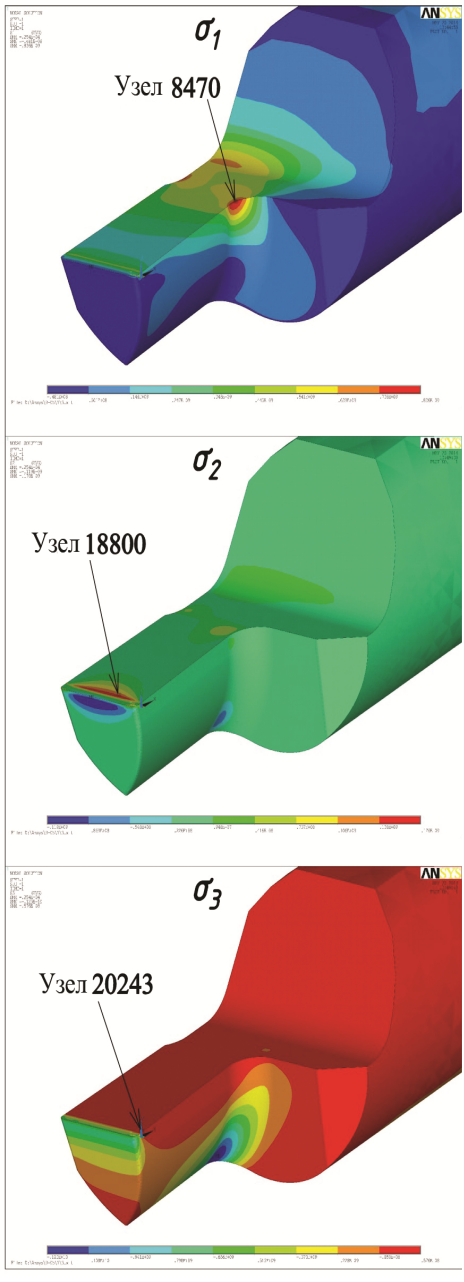


Рис. 8. Модель резца и отображение главных напряжений в узлах

Таблица 4

Расчетные значения главных напряжений и коэффициентов запаса прочности

Узел	σ_1, МПа	σ_2, МПа	σ_3, МПа	$\sigma_{экв}$, МПа	k_1	k_2
8470	830,9	4,8	0,76	831,5	1,08	1,08
18800	487,9	170,1	30,4	523,9	1,72	1,84
20243	498	72,9	57,6	517,8	1,74	1,81

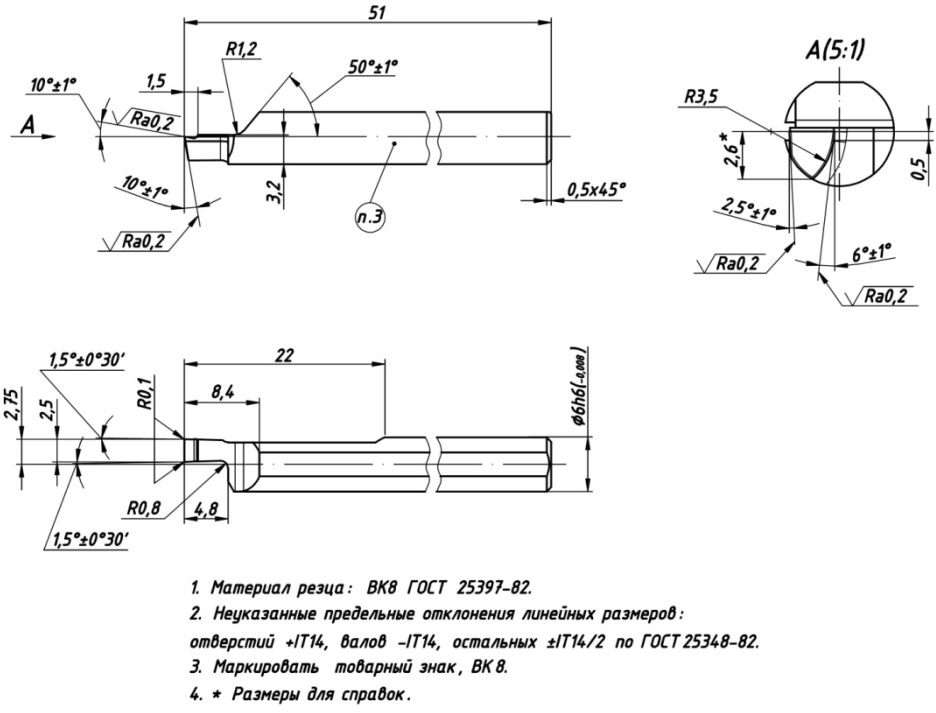


Рис. 9. Цельный твердосплавный резец с измененной геометрией режущей части

Исходная расчетная схема нагружения твердосплавного резца с измененной геометрией режущей части представлена на рис. 10. Модель резца нагружена контактным давлением σ_m, действующим со стороны передней поверхности на контактной площадке длиной l_1. В соответствии с данными табл. 5 для толщины a = 0,02 мм срезаемого слоя контактное давление $\sigma_m = 418,4$ МПа, длина контакта $l_1 = 0,165$ мм.

Таблица 5

Расчетные значения параметров для второго варианта геометрии резца в зависимости от толщины *a* срезаемого слоя

Параметр	*a*, мм				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Сила нормальная P_n, Н	172,5	313,4	446,4	575,0	700,5
Длина контакта l_1, мм	0,165	0,289	0,0,403	0,511	0,615
Контактное давление σ_m, МПа	418,4	433,3	442,8	450,0	455,7

Графическое представление результатов расчета с использованием программного комплекса ANSYS в виде контуров главных напряжений в узлах модели резца для схемы нагружения, приведенной на рис. 10, показано на рис. 11.

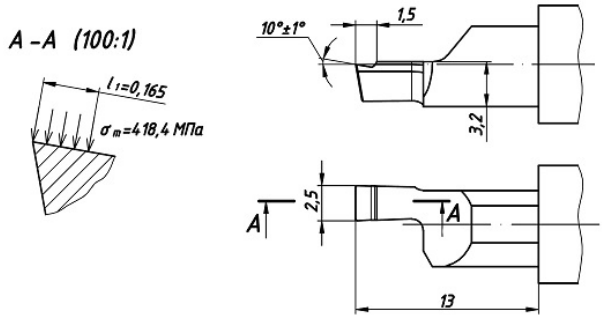


Рис. 10. Схема нагружения твердосплавного резца, с измененной геометрией режущей части

Согласно результатам расчета, на модели твердосплавного резца первые главные напряжения имеют наибольшее значение в узле 33689, вторые и третьи главные напряжения соответственно в узлах 33698 и 33708.

Значения главных напряжений в узлах, где главные напряжения имеют наибольшие значения, а также рассчитанные по критериям прочности коэффициенты запаса, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Расчетные значения главных напряжений и коэффициентов запаса прочности

Узел	σ_1, МПа	σ_2, МПа	σ_3, МПа	$\sigma_{экв}$, МПа	k_1	k_2
33689	551,5	109,9	16,4	569,8	1,58	1,63
698	530,3	172,3	47,9	570,8	1,58	1,70
33708	540,2	136,4	58,1	517,8	1,57	1,67

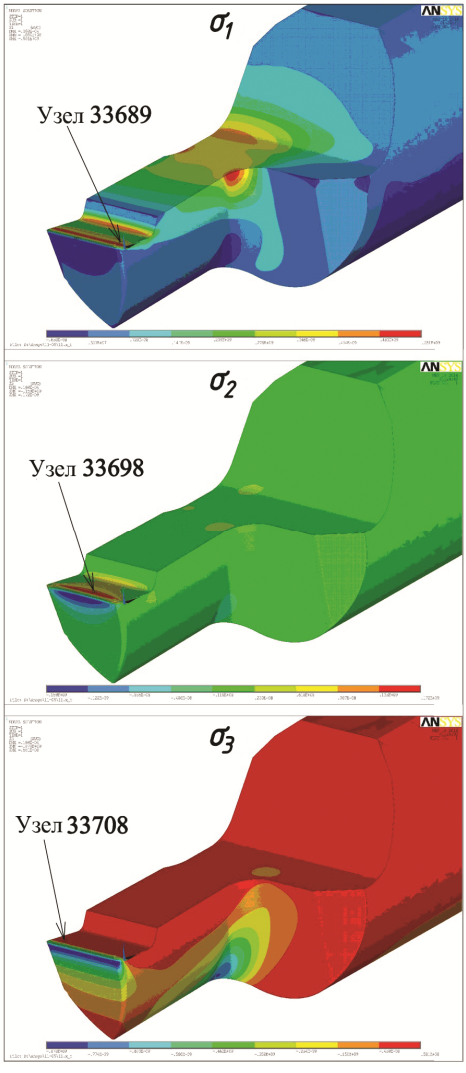


Рис. 11. Модель резца с улучшенной геометрией режущей части и отображение главных напряжений в узлах

Изменение геометрии режущей части — увеличение переднего угла и высоты — позволило повысить прочность канавочного резца. Рассчитанные коэффициенты запаса прочности значительно больше единицы, предложенная геометрия режущей части обеспечивает прочность и надежность работы резца.

Канавочные твердосплавные резцы с улучшенной геометрией режущей части рекомендованы для изготовления в инструментальном производстве предприятия и применения при обработке деталей РКТ.

По результатам проведенных технологических исследований и расчета прочности твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок были сделаны следующие выводы.

1. Подобранные и испытанные инструменты удовлетворяют установленным требованиям к обработке торцевых канавок на деталях РКТ из коррозионностойких сталей, алюминиевых и титановых сплавов по работоспособности и качеству обработанных поверхностей.

2. Основной причиной отказов цельных твердосплавных канавочных резцов в производственных условиях является их поломка вследствие недостаточной прочности режущей части.

3. Напряженное состояние режущей части резцов характеризуется существенными растягивающими напряжениями, значения которых в отдельных узлах приближаются к пределу прочности твердого сплава.

4. Изменение геометрических параметров режущей части резцов, в частности увеличение переднего угла и высоты, позволяет значительно повысить их прочность.

5. Подобранный и испытанный инструмент для обработки торцевых канавок внесен в каталог-ограничитель токарного инструмента для оборудования с ЧПУ на предприятии ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия».

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Каталог режущего инструмента фирмы Carmex Precision Tools, Ltd., 2013*. URL: http://www.carmex.com. (дата обращения 03.09.2014).

[2] *Каталог режущего инструмента фирмы Kemmer GripLock, 2014*. URL: http://www.kemmerhmw.de. (дата обращения 03.09.2014).

[3] Грубый С.В. *Моделирование процесса резания твердосплавными и алмазными резцами.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 107 с.

[4] Грубый С.В. *Физические закономерности процесса изнашивания твердосплавных и алмазных инструментов.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, 123 с.

[5] Грубый С.В., Зайцев А.М. Исследование концевых фрез при фрезеровании корпусных деталей из алюминиевых сплавов. *Наука и образование. Электронное научно-техническое издание*, 2013, № 12. URL: http://technomag.bmstu.ru/doc/634375.html. doi: 10.7463/1213.0634375 (дата обращения 03.09.2014).

[6] Грубый С.В., Лапшин В.В. Анализ процесса, заточка и испытания резцов из нитрида бора. *Наука и образование. Электронное научно-техническое издание*. 2013, № 9. URL: http://technomag.bmstu.ru/doc/598355.html. doi: 10.7463/0913.0598355.

[7] Грубый С.В., Лапшин В.В. Моделирование процесса и разработка технологии сверхточной обработки плоских отражателей однорезцовой алмазной фрезерной головкой. *Наука и образование. Электронное научно-техническое издание*. 2014, № 2. URL: http://technomag.bmstu.ru/doc/699743.html. doi: 10.7463/0214.0699743.

[8] Остафьев В.А. *Расчет динамической прочности режущего инструмента.* Москва, Машиностроение, 1979, 168 с.

[9] Силин С.С. *Метод подобия при резании материалов*. Москва, Машиностроение, 1979, 152 с.

[10] Кирсанов С.В. Тонкодисперсные и градиентные твердые сплавы. *Справочник. Инженерный журнал*, 2014, № 5, с. 2–5.

Статья поступила в редакцию 09.10.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:
Грубый С.В., Татарова Л.А., Воробьева Е.В. Повышение эффективности применения твердосплавных резцов для обработки торцевых канавок на деталях ракетно-космической техники. *Инженерный журнал: наука и инновации,* 2014, вып. 4. URL: http://engjournal.ru/catalog/machin/hidden/1313.html

Грубый Сергей Витальевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специалист в области моделирования, оптимизации, управления процессом механической обработки, исследования процесса изнашивания режущих инструментов, аналитической механики резания, разработки процессов сверхточной обработки.
e-mail: grusv@yandex.ru

Татарова Людмила Алексеевна — инженер, начальник отдела ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия». Специалист в области организации, разработки и внедрения прогрессивных технологических процессов механической обработки деталей ракетно-космической техники. e-mail: omo471@mail.ru

Воробьева Евгения Владимировна — инженер ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия». Специалист в области внедрения прогрессивных конструкций режущих инструментов. e-mail: evgeniavo@mail.ru

Improving the efficiency of carbide cutters use for face grooving on the details of rocket and space machinery

© S.V. Grubyy[1], L.A. Tatarova[2], E.V. Vorobyeva[2]

[1] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia
[2] ZAO “ZEM” of S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energia”, Korolev, 141070, Moscow region, Russia

The article presents results of engineering research carried out for the purpose of hard-alloy cutters testing and commissioning. The end grooves of these components were machined with hard-alloy cutters at the "Energia" Corporation. The calculations and analysis showed that the cutters are functional, cutting is fulfilled without chattering. The machined surface quality meets the requirements. There were no cutter breakages registered during manufacturing testing. In spite of this fact there are some breakages under the workshop conditions. This points out to the necessity of strength calculation to be carried out. Cutting part stress condition has great tension stress. The limit value of certain nodes tension is approximate to hard-alloy strength. It is necessary to increase the cutter face angle or to apply high strength hard-alloy for cutter making. According to the research we developed technological recommendations and grooving carbide cutters were implemented in the production of parts of space hardware.

Keywords: *face grooves, carbide cutters, strength criteria, geometrical parameters of cutters, factor of safety, cutting mode.*

REFERENCES

[1] *Catalog of the Carmex Precision Tools Ltd, 2013*. Available at: http://www.carmex.com (accessed on 03.09.2014).

[2] *Catalog of the company Kemmer GripLock, 2014*. Available at: http://www.kemmerhmw.de (accessed on 03.09.2014).

[3] Grubyy S.V. *Modelirovanie protsessa rezaniya tverdosplavnymi i almaznymi reztsami* [Modeling of the cutting process by carbide and diamond tools]. Moscow, BMSTU Publ., 2010, 107 p.

[4] Grubyy S.V. *Fizicheskie zakonomernosti protsessa iznashivaniya tverdosplavnykh i almaznykh instrumentov* [Physical laws of the wear of carbide and diamond tools]. Moscow, BMSTU Publ., 2013, 123 p.

[5] Grubyy S.V., Zaytsev A.M. *Nauka i obrazovanie. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie — Science and Education. Electronic Scientific and Technical Journal*, 2013, no. 12. doi: 10.7463/1213.0634375

[6] Grubyy S.V., Lapshin V.V. *Nauka i obrazovanie. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie — Science and Education. Electronic Scientific and Technical Journal*, 2013, no. 9. doi: 10.7463/0913.0598355.

[7] Grubyy S.V., Lapshin V.V. *Nauka i obrazovanie. Elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie — Science and Education. Electronic Scientific and Technical Journal*, 2014, №2. doi: 10.7463/0214.0699743

[8] Astafiev V.A. *Raschet dinamicheskoy prochnosti rezhuschego instrumenta* [Calculation of dynamic durability of the cutting tool]. Moscow, Machinostroenie Publ., 1979, 168 p.

[9] Silin S.S. *Metod podobiya pri rezanii materialov* [A method of similarity when cutting materials]. Moscow, Machinostroenie Publ., 1979, 152 p.

[10] Kirsanov S.V. Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal — *Handbook. An Engineering Journal*, 2014, №5, p. 2–5.

Grubyy S.V., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Instrumental Techniques and Technologies Department at Bauman Moscow State Technical University. He is a specialist in modelling, optimization, control of machining processes, study of cutting tools wear, analytical mechanics of the cutting processes, development of ultra-precision machining. e-mail: grusv@yandex.ru

Tatarova L.A., an engineer, head of the Department at ZAO "ZEM" of S.P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia". She is a specialist in organization, development and introduction of progressive technological processes of machining parts for rocket and space hardware. e-mail: omo471@mail.ru

Vorobyeva E.V., an engineer at ZAO "ZEM" of S.P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia". She is a specialist in progressive designs of cutting tools. e-mail: evgeniavo@mail.ru