

**Ключевые слова:**

эффективность оптимального резания, оптимальная скорость резания, экономическая стойкость инструмента, режимы резания, оптимальная температура резания, интенсивность износа, стойкость инструмента

РОЛЬ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО КЛИНА В ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЧАСТЬ 1

Юрий РАКУНОВ, Валерий АБРАМОВ, Александр РАКУНОВ

Рассмотрены научно-технические подходы к проблеме определения скорости резания при механической обработке рабочих поверхностей деталей машин и изделий унифицированным инструментом на токарных станках с ЧПУ. Произведено сопоставление оптимальных температур резания, полученных при точении сталей, с температурами их структурно-фазовых α - γ -превращений. Показано, что закон постоянства оптимальной температуры резания обеспечивает максимальную стойкость инструмента, наивысшую точность обработки при оптимальной скорости резания как для конструкционных, так и труднообрабатываемых материалов.

Важнейшей задачей науки о резании металлов является установление действительных закономерностей основных характеристик процесса в зависимости от изменения свойств обрабатываемого материала (ОМ), параметров режимов резания (РР), материала и геометрии режущего инструмента (РИ) и других внешних условий с целью оптимизации процесса по выбранным критериям оптимизации. Для оценки процесса резания наибольшее значение имеют размерный износ и стойкость унифицированного РИ (УРИ), производительность и себестоимость обработки и показатели качества деталей: их эксплуатационная надежность и долговечность [1, 6, 14]. Наи-

большие резервы повышения эффективности и качества обработки, снижения расхода инструментальных материалов (ИМ) содержатся в правильном выборе скорости резания V , так как она определяет тепловую напряженность процесса резания, производительность и качество обработки. Определение оптимальной V представляет наибольшую трудность, так как зависимость интенсивности износа УРИ от V носит характер сложных кривых с одной или несколькими точками минимума. В ряде научных коллективов СССР и России были проведены исследования указанных вопросов, которые стали основой теории резания металлов с направлением оптимиза-

ции процессов по физическим параметрам – интенсивности износа $h_{\text{оп}}$ РИ, и параметрам качества поверхностного слоя [3, 6].

В настоящее время происходит бурное развитие производства, особенно в оборонных отраслях промышленности. Вкладываются большие средства на создание современных, восстановление, модернизацию и перевооружение машиностроительных и двигателестроительных предприятий. Они оснащаются новыми станками, технологиями, режущим инструментом и компетентными кадрами, но вместе с тем возникает ряд существенных технических, финансовых, кадровых и других проблем. Потребность предприятий в вышеупомянутых ресурсах значительно превышает предложения на рынке. Наибольшую потребность в этих ресурсах испытывают предприятия аэрокосмической отрасли, так как они производят наиболее сложные и дорогостоящие детали двигателей и других агрегатов летательных и космических аппаратов (ЛиКА) [10, 11, 19].

Ключевые детали двигателей (диски лопаток турбин, валы, роторы, лопатки, кожухи и т.д.), как правило, изготавливают из жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сплавов и сталей, характеризующихся высокой прочностью, износостойкостью, а также устойчивостью к высоким температурам. К труднообрабатываемым материалам относятся также титановые сплавы, обладающие в 4–5 раз худшей теплопроводностью, чем стали, но при этом имеют самую высокую удельную прочность среди металлических конструкционных материалов. Стоимость наиболее ответственных деталей ЛиКА достигает 1,5 млн руб. при цене заготовки 300–400 тыс. руб. Точность изготовления таких деталей с учетом условий и режимов работы компонентов двигателей ЛиКА составляет несколько микрометров, то есть допуск по 4–5 качеству точности при шероховатости $Ra = 0,08–0,32$ мкм [3, 10, 18, 19].

Существующее техническое оснащение аэрокосмических предприятий металлорежущим инструментом (МРИ) не обеспечивает стабильности качества и производительности обработки ключевых деталей двигателей и других определяющих компонентов ЛиКА. Поэтому создание двигателей сводится к индивидуальной подборке и селективной сборке их узлов и сборочных единиц, то есть существующие технологии, в которых используют МРИ, особенно сборный ресурсозатратный инструмент с неперетачиваемыми сменными многогранными пластинами (СМП) иностранных производителей (Sandvic Coromant, Widia, Kennametall, Iscar и др.), обладающий радиусом округления режущих кромок порядка 20–30 мкм и повышенной интенсивностью изнашивания (нормативная или рекомендуемая стойкость на конструкционных материалах составляет 15 мин при завышенной скорости резания),

а при обработке жаропрочных сплавов (ЭИ-698-ВД или ВЖ-98) стойкость МРИ составляет 3–10 мин. Форсированные (неоптимальные) режимы обработки и недостаточно жесткие станки (металлообрабатывающее оборудование) и тонкостенные заготовки не позволяют в достаточной мере получать прецизионные стабильные размеры и качество поверхности обрабатываемых рабочих поверхностей деталей. Наивысшая точность, которую реально могут достигать механосборочные производства при лезвийной обработке в этих условиях, составляет порядка 10 мкм [3, 6, 10, 14] (рис. 1).

При изготовлении диска лопаток турбин на производстве затрачивается порядка трех рабочих дней на выполнение черновых деталиеопераций (установов), а чистовые (финишные) установовы могут занимать 4–5 дней. Это объясняется тем, что прецизионные станки и программное обеспечение позволяют позиционировать МРИ относительно заготовки с точностью 1 мкм и менее (уже существуют японские и отечественные станки субмикронной точности, реализующие наноточение или наноточности).

Для снижения издержек и повышения производительности производства деталей аэрокосмической отрасли из жаропрочных сплавов необходимо было решить научно-техническую задачу по разработке МРИ с радиусом ρ порядка 2–3 мкм (микрорезвие) и оптимальных режимов резания. Решение этой задачи позволяет снизить количество деталей с дефектовкой, уменьшить брак за счет повышения точности и одновременно производительной обработки из-за увеличения стойкости МРИ и сокращения количества переналадок станка.

Однако лучшие образцы зарубежных МРИ, используемые для обработки жаропрочных сплавов, имеют радиус округления режущей кромки (остроту лезвия) $\rho = 10–15$ мкм [18, 19]. СМП с износостойкими покрытиями имеют радиус округления режущей кромки еще больше – порядка $\rho = 20–30$ мкм.

Российский аналог – ресурсосберегающий унифицированный РИ (УРИ) имеет максимальную остроту лезвия $\rho = 5–10$ мкм, заточенный и доведенный алмазными кругами на керамической или бакелитовой связке при оптимальных режимах шлифования. На многократно перетачиваемых режущих элементах (РЭ) (рис. 2, 3) резцов унифицированных конструкций [9, 15, 17] возможно получение $\rho = 3–5$ мкм и даже менее после доводки алмазными пастами в многоместных кассетных приспособлениях при особомелкозернистой структуре твердого сплава: например, ВК6ОМ, ВК10ОМ, ВК10ХОМ и ВРК15 [6–8].

При попытке достижения требуемой точности с использованием импортного МРИ с $\rho = 10–15$ мкм

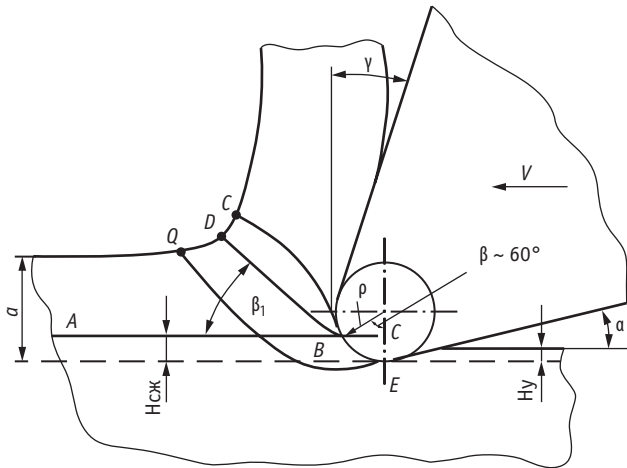


Рис. 1. Схема резания резцом с радиусом округления лезвия r : $H_{CЖ}$ – зона упруго-пластической деформации; H_y – упругое последствие; β – угол скалывания; $|\gamma| = (90^\circ - \beta)$, β_1 – угол сдвига; $|\gamma| = \arcsin(1 - \alpha_i / \zeta)$ – отрицательный передний угол, где: α_i – толщина среза; ζ – коэффициент усадки стружки

оператор станка вынужден многократно осуществлять переходы по доводке точных поверхностей детали. При перемещении МРИ на 10 мкм он вдавливаются в поверхность заготовки, однако резания не происходит из-за ее малой жесткости. Оператору приходится увеличивать глубину резания и повторять проход, при этом на очередном проходе происходит врезание режущего клина в поверх-

ность и срезается гораздо больший слой металла, чем нужно, что обычно приводит к браку детали. Таким образом, использование импортного МРИ не дает возможности гарантированно получить заданную субмикронную точность [4–7, 10, 15].

Современная статистика показывает, что из 100% деталей двигателей ЛиКА, изготавливаемых из жаропрочных сплавов, только 20% удовлетворяют требованиям точности изготовления, на 50% деталей составляется дефектная ведомость (при этом их стоимость снижается на 1/3) и 30% бракуются окончательно. Учитывая этот факт, сборка готового двигателя осуществляется селективным методом по наиболее подходящим размерам. В большинстве случаев при ремонте двигателей ЛиКА невозможно заменить изношенную деталь на новую, так как при изготовлении не обеспечивается их унификация и полная взаимозаменяемость. Для достижения полной взаимозаменяемости необходимо повысить точность изготовления, что обеспечит увеличение количества точных поверхностей, попадающих в поле допуска размеров [3, 6].

Известные методы и режимы затачивания с применением шлифования и доводки алмазным инструментом позволяют получать на мелко- и особомелкозернистых сплавах РЭ лезвие режущего клина с $r \geq 2(3)–5$ мкм (табл. 1).

Измерение r проводилось на приборе «КОНТУРОГРАФ» мод. 220 (ТУ3943-005-70281271-2011), изготовленном ОАО «Завод ПРОТОН» МИЭТ. Опытное тонкое точение проводилось на станке ТПК-125В высокой точности.

Таблица 1. Зависимость остроты лезвия от методов и режимов затачивания с применением шлифования и доводки алмазным инструментом

Марка сплава	Средний размер зерен WC, мкм	Содержание, %				Шероховатость* R_a , мкм (класс)			Средняя величина r , мкм после доводки		
		Co	WC	TaC	CrC	КБ	АК	АП	КБ	АК	АП
ВКЗМ	1,6	3	97	–	–	0,2 (9)	0,1 (10)	0,05 (11)	7–8	6	5
ВК6М	1,5	6	94	–	–	0,2	0,1	0,05	7–8	6	5
ВК10М	1,6	10	90	–	–	0,2	0,1	0,05	7–8	6	5
ВК15М	1,6	15	85	–	–	0,2	0,1	0,05	7–8	6	5
ВК60М	0,8...1,0	6	92	2	–	0,2	0,1	0,05	5–6	4	3
ВК100М	0,8...1,0	10	90	–	–	0,2	0,1	0,05	5–6	4	3
ВК10ХОМ	0,4...0,6	10	88	–	2	0,2	0,1	0,05	4–5	3	2
ВРК15	1,0	15	76	9 (Re)	–	0,2	0,1	0,05	5	4	3
Т15К6	1,5	6	79	15 (TiC)	–	0,2	0,1	0,05	8–10	7–8	5–6

* КБ – паста карбида бора; АК – алмазный круг; АП – алмазная паста.

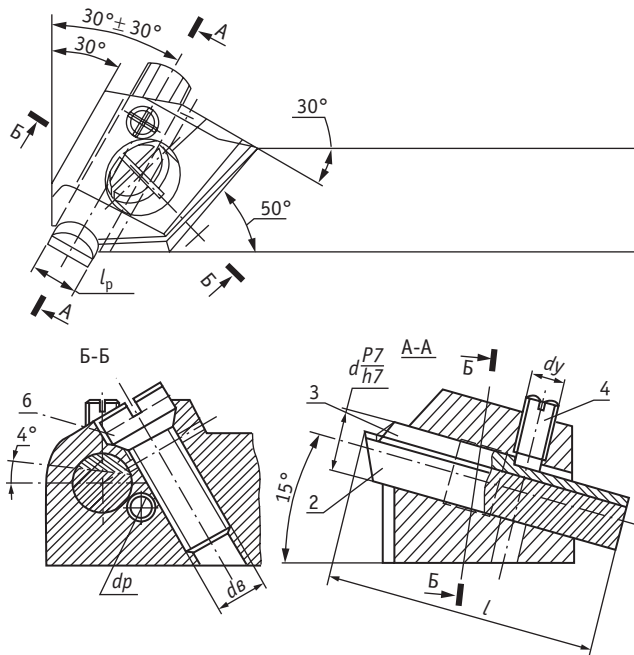


Рис. 2. Унифицированный наружный резец с многократно перетачиваемым составным РЭ

Таким образом, можно сделать вывод, что величина ρ зависит от зернистости твердого сплава, параметров обрабатываемого инструмента, геометрических параметров режущего клина (РК), режимов обработки его передней и задних поверхностей. Настоящие исследования и эксперименты проводились на цилиндрических унифицированных РЭ (цельных и составных со стружколомом) (см. рис. 2), имеющих угол заострения $\delta = 90^\circ - (\gamma + \alpha) = 70^\circ$.

Влияние угла δ на величину ρ выявлялось на РЭ из сплава ВК60М со средним размером зерна WC, равным 0,8...1,0 мкм. Для этого случая получена эмпирическая зависимость:

$$\rho = 0,5\delta^2 \cdot 10^{-3} + 2. \quad (1)$$

Соотношения между углом δ и радиусом ρ были получены ранее рядом исследователей. Например, в работе [21] эта зависимость приводится в виде:

$$\rho = 5,2 \cdot \text{tg}^2(\delta / 2). \quad (2)$$

По данным «ВНИИНСТРУМЕНТ», для сплава ВК6 получена зависимость:

$$\rho = 55 - 0,55(125 - \delta). \quad (3)$$

Приведенные зависимости (2) и (3) устанавливают факт влияния δ на радиус ρ , но по ним можно определять величину ρ только для тех

сплавов и технологических условий, в которых они получены.

В работах по чистовому точению стали 45 (1045 – холодноотянутая сталь с присадкой серы) для получения оптимальной шероховатости поверхности ($R_a = 0,75-1,25$ мкм) рекомендуются следующие режимы и условия резания:

- скорость $V = 330$ м/мин;
- глубина резания $t = 0,25-0,75$ мм;
- подача $S_0 = 0,05$ мм/об;
- геометрия резца в плане: $R = 0,3-0,5$ мм, $\phi = 90^\circ$, $\phi_1 = 20^\circ$;
- геометрия режущего клина: радиус округления режущей кромки после доводки $\rho = 2,5-3,5$ мкм, $\gamma = 0^\circ$ (при уменьшении V , γ – увеличить), $\alpha = 10^\circ$;
- работа – без охлаждения.

Эти условия резания обеспечивают шероховатость в пределах $R_a = 0,8$ мкм или $R_z = 4,0$ мкм при достаточной жесткости системы ЗИПС (заготовка – инструмент – приспособление – станок) [8–10]. Радиус округления ρ и шероховатость режущей кромки принципиально важны при финишном точении. Твердосплавные унифицированные РЭ, заточенные и доведенные алмазными кругами и пастами, дают на 40–50% меньшую шероховатость и большую размерную стойкость (в 2–3 раза), чем резцы, заточенные без последующей доводки (см. рис. 5) [7, 8, 14].

Основой и стимулом для развития исследований послужила выдвинутая А. Д. Макаровым гипотеза о постоянстве температуры резания θ_0 , при которой наблюдаются минимальная интенсивность износа унифицированного РИ и его максимальная размерная стойкость [6, с. 67–73]. Эта гипотеза нашла экспериментальное подтверждение для продольного точения, затем оказалась справедливой и для многих видов обработки металлов лезвийными РИ: торцового точения, растачивания, торцового фрезерования, фрезерования концевыми фрезами, сверления, нарезания резьбы, зубофрезерования, протягивания, зенкерования и развертывания. Из указанного закона выведено свыше десятка следствий, значительно расширивших и углубивших его действие.

Инвариантность оптимальной температуры θ_0 к изменению большого числа внешних условий процесса резания [6–10] позволяет:

- значительно повысить размерную стойкость УРИ и снизить его расход, что особенно важно при обработке труднообрабатываемых материалов;
- производить адаптивное управление процессом резания по θ_0 (величине ТЭДС) и автоматически поддерживать процесс резания на оптимальном уровне.

Адаптивное управление процессом резания при обработке крупногабаритных деталей сложной формы (дисков турбин и компрессоров газотурбинных двигателей) было внедрено на ряде предприятий

Таблица 2. Сопоставление оптимальных температур резания, полученных при точении сталей, с температурами их структурно-фазовых α - γ -превращений

Марка стали	Оптимальная температура/скорость резания θ_0/V_0 ; (V_{60}^{T15K6}); (V_{60}^{T30K4})* °С / м/мин	Температура точки Ас3 θ_1 , °С	$\Delta_0 = \theta_0 - \theta_1$, °С	$\Delta = (\theta_0 - \theta_1) / \theta_0$, %
Сталь Э	910/540; (452); (640)	890	20	2,2
10	850 /460; (615); (872)	860	30	3,36
20	870 /390; (436); (618)	840	30	3,44
30	840 /340; (356); (504)	820	20	2,38
40	820 /300; (258); (366)	730	30	3,65
45	790 /280; (249); (353)	775	15	1,9
45	800 /285; (260); (369)	775	25	3,12
50	790 /270; (211); (299)	760	30	3,80
I2X2H4A	800 /240; (230); (325)	780	20	2,5
20ХН	850 /320; (386); (547)	835	15	1,76
20ХНМ	820 /315; (376); (533)	810	10	1,22
30ХГСА	820 /160; (192); (273)	830	-10	1,22
30ХГСНА	800 /155; (180); (256)	815	-15	1,87
50Х	780 /220; (228); (323)	770	10	1,28
50ХНС	800 /235; (225); (320)	770	30	3,75

* V_{60}^{T15K6} , V_{60}^{T30K4} – скорости резания, дающие стойкости $T = 60$ мин для T15K6; T30K4

с большим экономическим эффектом. Важным достоинством оптимальных по интенсивности износа УРИ скоростей резания является то, что указанные скорости являются оптимальными и по основным характеристикам качества поверхностного слоя [6]. Равенство или совпадение указанных скоростей резания (как и само существование оптимальных температур контактного взаимодействия при резании металлов) вытекает из установленной и уточняемой в течение ряда лет физической сущности оптимальной температуры θ_0 .

Так в работе [7] была выдвинута гипотеза о равенстве θ_0 при обработке сталей температуре точки Ас3 структурно-фазового α - γ -превращения, а в работе [6, с. 73] отмечалось, что θ_0 титанового сплава примерно равна температуре его рекристаллизации. Естественно, что совпадение θ_0 с температурой структурно-фазовых или иных превращений в обрабатываемых материалах является закономерным.

При температурах структурно-фазовых превращений в приповерхностных контактных слоях обрабатываемых материалов происходит резкое, скачкообразное изменение физических

свойств (параметра кристаллической решетки, коэффициента линейного расширения, удельных теплоемкости и электросопротивления, термоэлектродвижущей силы, модуля упругости и др.), ослабление межзатомных связей и потеря устойчивости решетки исходной фазы к смещениям атомов при нагреве. Исчезновение ферромагнетизма при температурах точек Кюри (для железа – 768 С°, никеля – 365 С°, кобальта – 1150 С°) также сопровождается скачкообразным изменением ряда физических свойств.

Экспериментальные исследования чистового точения ($t = 0,25$ мм, $S_0 = 0,1$ мм/об) сталей твердосплавными УРИ из T15K6 и T30K4 показали (см. рис. 3 и табл. 2), что θ_0 , измеренные методом естественной термопары, как температуры, обеспечивающие наименьшую $h_{оп}$ УРИ, практически совпадают с температурами точек Ас3 структурно-фазовых превращений в сталях. Убедительное экспериментальное подтверждение гипотезы о равенстве θ_0 температурам структурно-фазовых α - γ -превращений получено также при точении железо-никелевых сплавов [7]. Тот факт, что θ_0 связывается с температурами критических точек

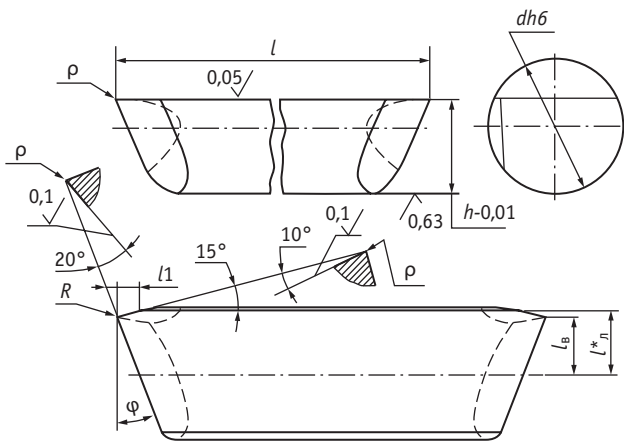


Рис. 3. Режущий элемент УРИ лево-правый контурный
 $\rho_{\phi} = 3-5$ мкм, $\rho_{np} = 5-10$ мкм

структурно-фазовых или иных превращений ОМ, является основанием для инвариантности θ_0 по отношению к различным видам обработки. В силу того, что износ УРИ по задней поверхности h_3 и образование поверхностного слоя детали являются результатом действия одних и тех же физических причин (работа сил трения в контакте «УРИ – деталь»), при наличии экстремальной зависимости интенсивности износа от V , зависимости шероховатости поверхности, глубины и степени наклепа, плотности дислокаций от V должны иметь экстремальный характер с точками минимума при оптимальных скоростях резания – V_0 . Детали, обработанные на V_0 , как показали исследования, имеют более высокую жаропрочность, длительную прочность, коррозионную стойкость и износостойкость по сравнению с деталями, обработанными на более низких или более высоких скоростях резания. Рабочие поверхности, обработанные на V_0 , обладают максимальной контактной жесткостью [6, 10]. Аналогично оптимальные по интенсивности износа РР являются оптимальными по форме и характеру схода стружки и объемной деформации сжатия стружки. Работа на режимах оптимального резания (РОР) приводит к достижению наиболее высокой точности чистой и финишной обработки и повышает надежность ее обеспечения [6, 14–16].

Поэтому трудно переоценить положительные свойства V_0 при изготовлении особо ответственных деталей изделий, приборов и машин и при эксплуатации унифицированного, специализированного и специального РИ в условиях автоматизированного производства [6]. Оптимальные V_0 позволяют также производить объективную сравнительную оценку режущих свойств инструментальных материалов и обрабатываемости металлов резанием [7, 10, 14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Волгарев Л. Н. Исследование некоторых вопросов оптимального резания при тонком точении жаропрочных материалов: Автореф. дисс... к.т.н. – М.: МАМИ, 1970. 23 с.
2. Захарченко И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – Киев: Наукова думка, 1981. 300 с.
3. Звонцов И. Ф., Иванов К. М., Серебrenицкий П. П. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ: Учебное пособие / 2-е изд., стер. – СПб: Лань, 2018. 588 с. (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Klocke F. Manufacturing Processes. Cutting. Springer, 2011. 500 p.
5. Machining: fundamentals and recent advances / Ed. J. Paulo Davim. Springer, 2008. 361 p.
6. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
7. Макаров А. Д., Самигуллин Р. З. О связи оптимальных температур резания с температурами структурно-фазовых превращений в обрабатываемых материалах. Межвуз. науч. сб./ Уфа: УАИ, 1981, вып. 6. Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов.
8. Маргулис Д. К. Роль нароста при протягивании с малыми подачами // Станки и инструмент. 1960. № 12. С. 14–18.
9. Ракунов Ю. П., Хрульков В. А., Золотова Н. А., Тихонов Н. А. Многократно перетачиваемый резец: Патент РФ № 2226453. – Бюл. № 10, 2004.
10. Безязычный В. Ф., Кожина Т. Д., Константинов А. В. и др. Оптимизация технологических условий механической обработки деталей авиационных двигателей. – М.: МАИ, 1993. 184 с.
11. Патрик де Вос (Patrick de Vos). Десять простых шагов для максимального увеличения эффективности и производительности // Машиностроитель. 2017. № 3. С. 40–47.
12. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Золотова Н. А. Прогрессивные конструкции и технологические процессы изготовления унифицированных твердосплавных резцов к станкам с ЧПУ // Станочный парк. 2011. № 5. С. 71–75.
13. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В. Аналитический метод определения сил резания при тонкой механической обработке // Перспективные научные исследования. Мат-лы междунар. конф. Изд-во: Бял ГРАД-БГ (г. София, Болгария) 17-25.02.2014.
14. Ракунов Ю. П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин // Научные технологии в машиностроении. 2013. № 2. С. 36–48.

15. Раунов Ю. П. Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии // Научные труды в машиностроении. 2012. № 3. С. 23–31.
16. Раунов Ю. П. Подсистема синтеза многоуровневой базовой технологии // Научные труды в машиностроении. 2012. № 10. С. 36–46.
17. Резец: Патент РФ № 2170160 / Калмыков В. И., Раунов Ю. П., Хрульков В. А., Петровская Т. М., Золотова Н. А., Борисенко Н. Н. — Бюл. № 19, 2001.
18. Реченко Д. С. Повышение эффективности твердосплавного лезвийного инструмента путем сверхскоростного затачивания и разработки комплекса условий его эксплуатации // Автореф. дисс. д. т. н. — Томск, 2018. 37 с.
19. Рыкунов А. Н. Повышение эффективности тонкого точения исходя из достижимых показателей качества деталей и технологических возможностей процессов: Автореф. дисс. ... д. т. н. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 1999. 30 с.
20. Sandvik Coromant. Рекомендации по режимам резания. Токарная обработка. <http://www.coroguide.com/CuttingDataModule/CDMTurning.asp> (дата обращения 24.12.2018).
21. Shaw M. C., Crowell J. A. Finish machining. Ann. C.I.R.P., 1965, 13, No. 1, 5-21, Discuss.
22. Хае Г. Л., Василюк Г. Д. Влияние округления режущей кромки твердосплавных резцов на их прочность и износостойкость // Вестник машиностроения. 1970. № 4. С. 71–73.
23. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Кузнецов А. М., Стлидзан М. В. Анализ методов определения радиуса округления режущей кромки // Труды Братского гос. ун-та: Серия «Естественные и инженерные науки». Т. 2. — Братск: БрГУ, 2006. С. 256–260.

РАКУНОВ Юрий Павлович – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АБРАМОВ Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

РАКУНОВ Александр Юрьевич – инженер, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1210 руб.

ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ СТАЛЕЙ, ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С УЧЕТОМ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Райхельсон В.А.

В книге освещены основные виды механической обработки резанием современных конструкционных сталей, жаропрочных и титановых сплавов лезвийными инструментами: точение, строгание, сверление, фрезерование, протягивание, разрезка заготовок и прорезка пазов.

Книга содержит большой научно-практический и справочный материал, рассчитана на инженерно-технических работников предприятий машиностроения, авиакосмической отрасли, энерго- и автостроения, оборонной промышленности. Она также послужит учебным пособием для студентов и преподавателей высших и средних учебных заведений машиностроительных специальностей.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2018. – 508 с.
ISBN 978-5-94836-476-6

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎125319, Москва, а/я 91; ☎+7 495 234-0110; ☎+7 495 956-3346; ✉knigi@technosphere.ru, sales@technosphere.ru

IX Форум по цифровизации оборонно-промышленного комплекса России



ИТОПК

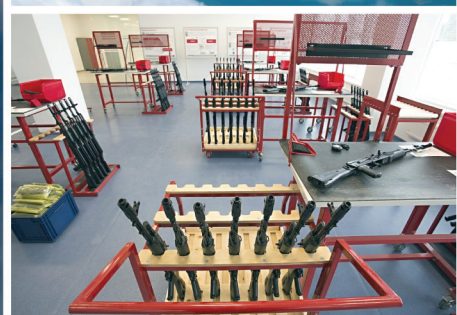
**КАЛУГА
2020**

www.итопк.рф

При поддержке:

Коллегии Военно-промышленной
комиссии Российской Федерации

Правительства
Калужской области



15–17 апреля

В этот раз вас ожидают:

- ◆ Новые интересные доклады
- ◆ Новые секции
- ◆ Новые разработки и продукты