

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16Т

В.Н. Трусов, О.И. Законов, В.В. Шикин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Произведено исследование процесса фрезерования алюминиевого сплава Д16Т. Определено влияние режимов резания на силы резания при фрезеровании, шероховатость поверхности и температуру обработанной поверхности заготовок. Даны практические рекомендации для производства по назначению режимов резания при фрезеровании.

Ключевые слова: *фрезерование, высокоскоростная обработка, алюминиевый сплав Д16Т, режимы резания, силы резания, шероховатость поверхности, температура.*

В современном машиностроении одним из широко распространенных конструкционных материалов является алюминиевый сплав Д16Т. Сложность обработки материалов из алюминиевых сплавов заключается в чувствительности материала к температурным перепадам и воздействию силы резания, что особенно актуально при обработке тонкостенных элементов. С целью снижения воздействия силового фактора на качественные показатели обработанной детали применяют обработку на повышенных и высоких скоростях резания, которая даже при сохранении производительности процесса позволяет значительно снизить силы резания, а следовательно и температуру обрабатываемой поверхности. Однако параметры процесса, при которых фрезерование можно считать высокоскоростным, четко не определены. Поэтому в данной работе предпринята попытка изучения влияния параметров режима обработки на повышенных скоростях резания алюминиевого сплава Д16Т с целью выработки практических рекомендаций. Поставленная задача решается на основе исследования сил и температуры резания при фрезеровании, а также шероховатости обработанной поверхности.

Исследования проводились на экспериментальной установке, состоящей из горизонтально-фрезерного станка 6Р81Г, дисковой пазовой фрезы специальной конструкции диаметром 300 мм, динамометра марки УДМ 600 и регистрирующей аппаратуры. Фрезерование проводилось без охлаждения. В конструкции фрезы использовались четырехгранные сменные режущие пластины из твердого сплава ВК8 с длиной режущей кромки 11,5 мм. Конструкция фрезы выполнена таким образом, что пластины закреплены в режущих вставках винтами, сами режущие вставки имеют возможность регулирования в радиальном направлении, что позволяет снизить радиальное биение фрезы за счет точной установки вылета каждого зуба. Вылет зубьев фрезы контролировался после каждой серии опытов.

С целью сокращения объема экспериментальных исследований они были проведены по схеме полного факторного эксперимента 2^3 . Варьируемыми факторами принимались скорость резания V , подача на зуб фрезы S_z и глубина резания t . Уровни

Владимир Николаевич Трусов (д.т.н., профессор), заведующий кафедрой «Инструментальные системы и сервис автомобилей».

Олег Игоревич Законов, аспирант.

Владимир Васильевич Шикин, аспирант.

варьирования факторов были выбраны на основе ранее известных экспериментов и возможностей имеющегося оборудования.

Значения факторов эксперимента для каждого опыта и результаты измерения силы резания приведены в таблице.

Значения факторов эксперимента, средние величины составляющих силы резания и шероховатости обработанной поверхности

№ опыта	n, об/мин (v, м/мин)	S мм/зуб (мм/мин)	t, мм	Pz _в , Н	Pz _п , Н	Ra, мкм (встречное)	Ra, мкм (попутное)
1	1600 (1507,2)	0,1 (1600)	1	30	40	0,95	1,25
2	400 (376,8)	0,1 (400)	1	44	50	6,17	5,8
3	1600 (1507,2)	0,05 (800)	1	23	30	0,72	0,56
4	400 (376,8)	0,05 (200)	1	27	30	0,97	0,76
5	1600 (1507,2)	0,1 (1600)	0,25	21	25	0,28	0,28
6	400 (376,8)	0,1 (400)	0,25	15	15	2,0	2,19
7	1600 (1507,2)	0,05 (800)	0,25	4,5	5	0,22	0,26
8	400 (376,8)	0,05 (200)	0,25	4,5	5	1,9	1,67

Статистическая оценка экспериментальных данных показала адекватность гипотезы аппроксимации с 5%-м уровнем значимости.

В результате аппроксимации на основе регрессионного анализа получены следующие зависимости для главной составляющей силы резания при встречном (Pz_v) и попутном (Pz_n) фрезеровании:

$$Pz_v = 1333,3 \cdot t^{1,04} \cdot S^{1,37} \cdot V^{-0,02} \text{ [Н]},$$

$$Pz_n = 783 \cdot t^{0,94} \cdot S^{1,26} \cdot V^{0,05} \text{ [Н]}.$$

На рис. 1 – 3 приведены зависимости главной составляющей силы резания Pz от режимов резания. Из представленных графиков видно, что увеличение скорости резания приводит к незначительному снижению силы резания при встречном фрезеровании. Это означает, что в исследованном нами диапазоне скоростей резания эффект высокоскоростного резания незначителен. К существенному увеличению сил резания приводит увеличение подачи на зуб и глубины резания; так, например, увеличение подачи в 2 раза приводит к увеличению силы резания в 2,6 раза, а увеличение глубины резания в 2 раза приводит к увеличению силы резания в 2,1 раза.

Очевидно, что для снижения сил резания, а следовательно, нагрузки на оборудование, инструмент и заготовку при фрезеровании алюминиевого сплава Д16Т целесообразно повышать скорость резания, снижая при этом величину подачи на зуб и глубину резания.

Одним из показателей качества обработки деталей является шероховатость обработанной поверхности. Результаты измерения высоты неровностей, осредненные по десяти измерениям для каждого опыта, представлены в табл. 4 и на рис. 4 – 6.

Аппроксимация экспериментальных данных позволила получить следующие эмпирические зависимости для шероховатости поверхности при встречном и попутном фрезеровании соответственно:

$$Ra_v = 27100 \cdot t^{0,5} \cdot S^{0,84} \cdot V^{-1,13} ;$$

$$Ra_n = 27100 \cdot t^{0,43} \cdot S^{1,15} \cdot V^{-1,03} .$$

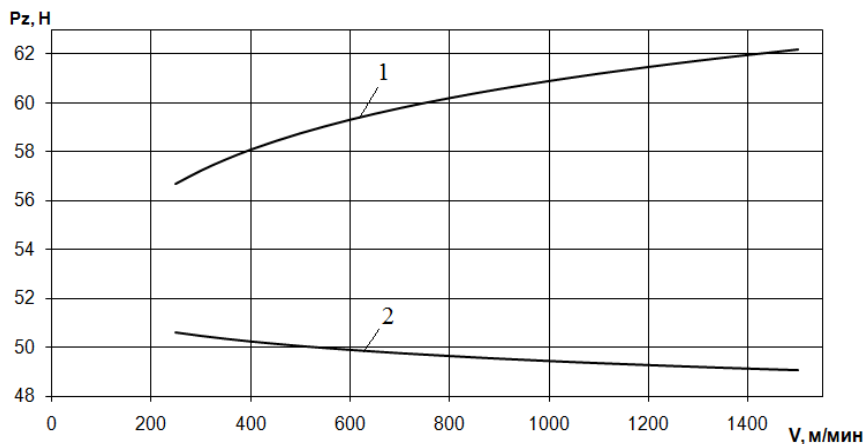


Рис. 1. Зависимость силы резания P_z от скорости резания при фрезеровании:
 $S = 0,1$ мм/зуб, $t = 1$ мм;
 1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

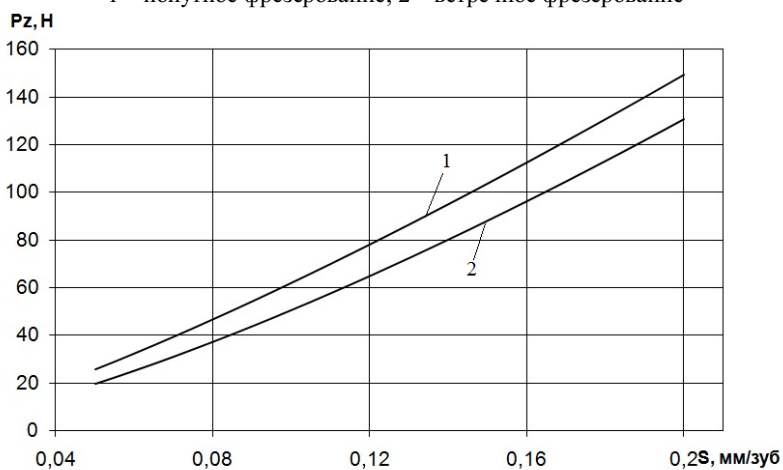


Рис. 2. Зависимость силы резания P_z от подачи при фрезеровании:
 $V = 1507$ м/мин, $t = 1$ мм;
 1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

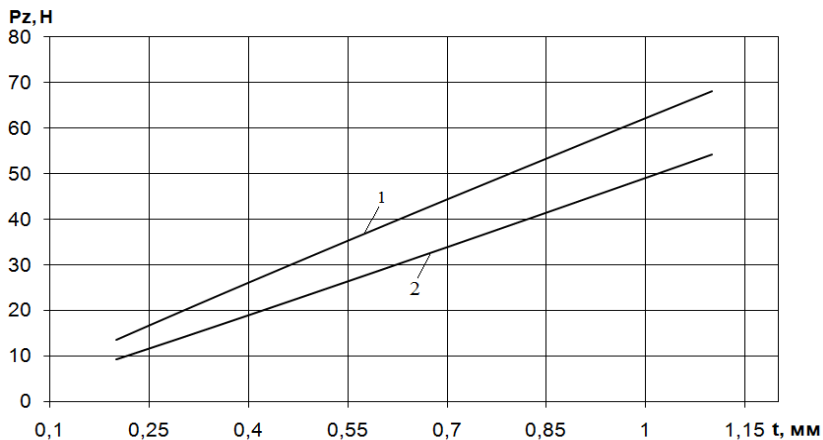


Рис. 3. Зависимость силы резания P_z от глубины резания при фрезеровании:
 $V = 1507$ м/мин, $S = 0,1$ мм/зуб;
 1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

На рис. 4 – 6 приведены зависимости шероховатости обработанной поверхности Ra от режимов резания.

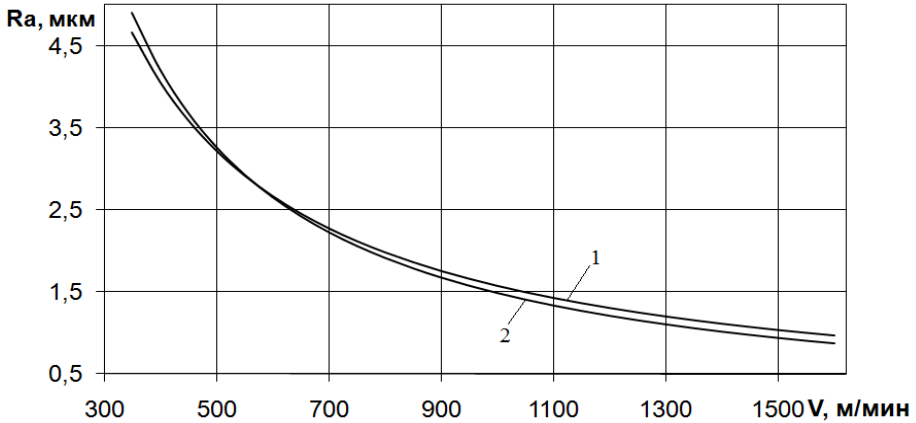


Рис. 4. Зависимость высоты неровности обработанной поверхности Ra от скорости резания при фрезеровании: $S = 0,1$ мм/зуб, $t = 1$ мм;
1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

Экспериментальные результаты указывают на возможность достижения минимальной высоты неровностей порядка Ra 0,22 мкм, что в принципе позволяет использовать скоростное фрезерование на окончательной операции.

Полученные зависимости показывают, что при увеличении скорости резания высота неровностей снижается. Увеличение же подачи на зуб и глубины резания приводит к росту высоты неровностей. При этом наибольшее влияние на высоту неровностей оказывает скорость резания. При ее увеличении с ~300 м/мин до 1507 м/мин (~ в 5 раз) шероховатость неровностей по Ra уменьшается с ~6 мкм до 0,25 мкм (см. рис. 4). Подача на зуб и глубина резания влияют на высоту неровностей практически линейно.

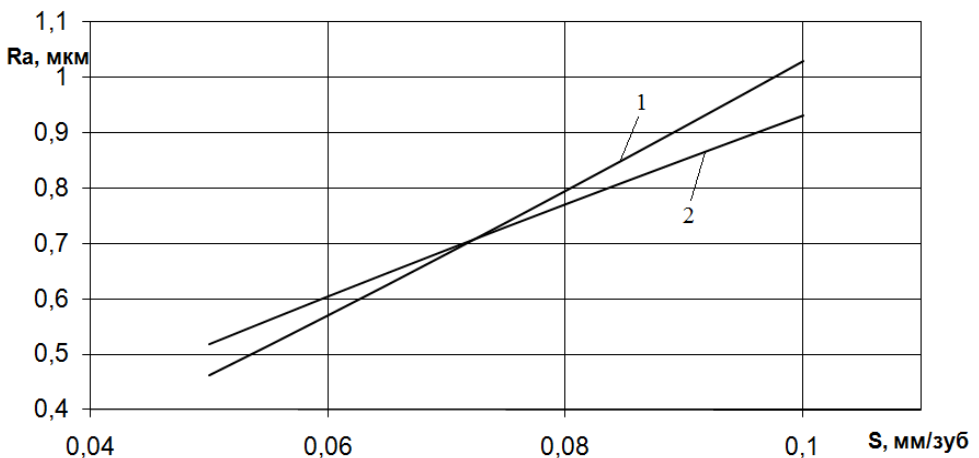


Рис. 5. Зависимость шероховатости обработанной поверхности Ra от подачи при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $t = 1$ мм;
1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

Таким образом, наименьшая высота неровности поверхности достигается при увеличении скорости резания и снижении подачи и глубины фрезерования. При этом следует иметь в виду, что при малых скоростях резания и больших глубинах и подачах наблюдается интенсивное наростообразование и наволакивание его на обработанную поверхность.

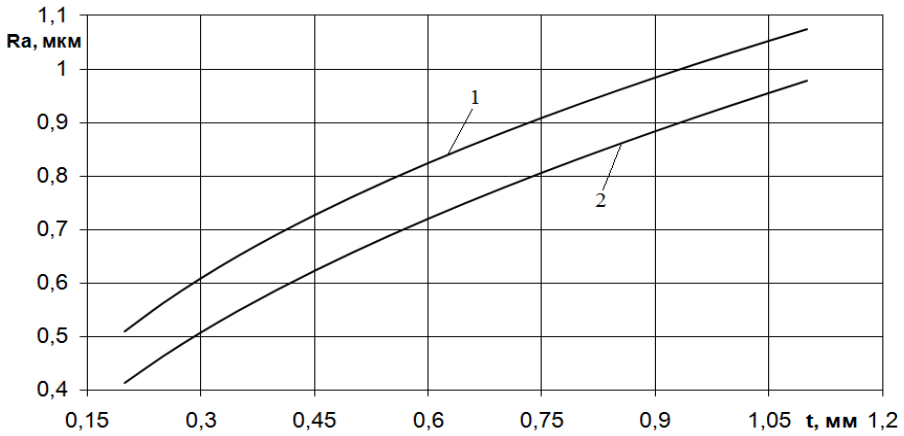


Рис. 6. Зависимость шероховатости обработанной поверхности Ra от глубины при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $S = 0,1$ мм/зуб;
1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

Теплота, выделяющаяся в зоне контакта инструмента и заготовки, является одним из важнейших факторов, влияющих как на процесс резания, так и на качество обработанной поверхности. В связи с этим было проведено исследование температуры в зоне обработки. Измерение температуры производилось методом искусственной термопары (хромель – алюмель), заложённой в образце.

Аппроксимация экспериментальных данных позволила получить следующие зависимости для определения температуры в изученном диапазоне режимов:

– для встречного фрезерования $T = 56,7 \cdot V^{0,47} \cdot t^{0,28} \cdot S^{0,85}$;

– для попутного фрезерования $T = 54,3 \cdot V^{0,47} \cdot t^{0,31} \cdot S^{0,82}$.

Результаты измерения температуры в зависимости от режимов резания, при которых она измерялась, приведены на рис. 7 – 9.

Из графиков видно, что увеличение скорости резания с 397 до 1507 м/мин приводит к увеличению температуры (при $s = 0,1$; $t = 1$) с 125 до 225 °С. Увеличение подачи и глубины резания также приводит к увеличению температуры. Это обусловлено соответствующим увеличением сил резания.

При встречном и попутном фрезеровании меняется характер и скорость нагрева. При встречном фрезеровании нагрев до максимальной температуры происходит более плавно за счет изменения сечения среза от минимального до максимального, а при попутном фрезеровании нагрев происходит более резко (скачкообразно) за счет изменения сечения от максимального до минимального. Также влияние оказывает тот факт, что при попутном фрезеровании зуб фрезы находится в контакте с заготовкой несколько дольше и температуры при этом выше.

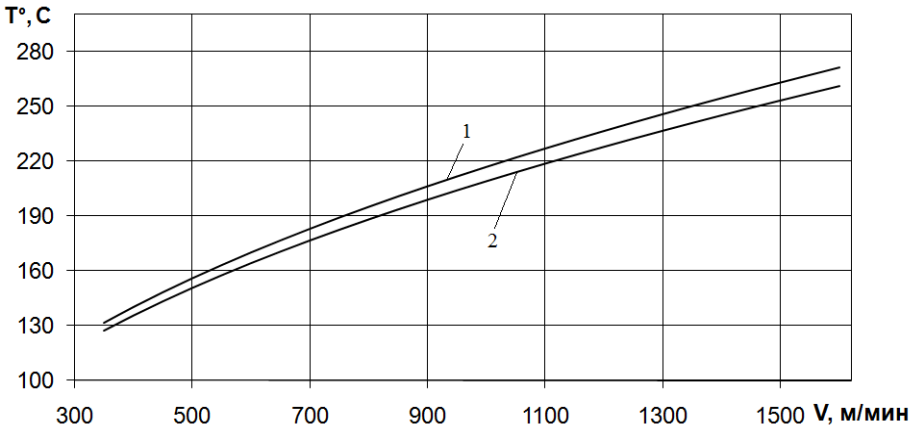


Рис. 7. Зависимость температуры от скорости резания при фрезеровании:
 $S = 0,1$ мм/зуб, $t = 1$ мм;
 1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

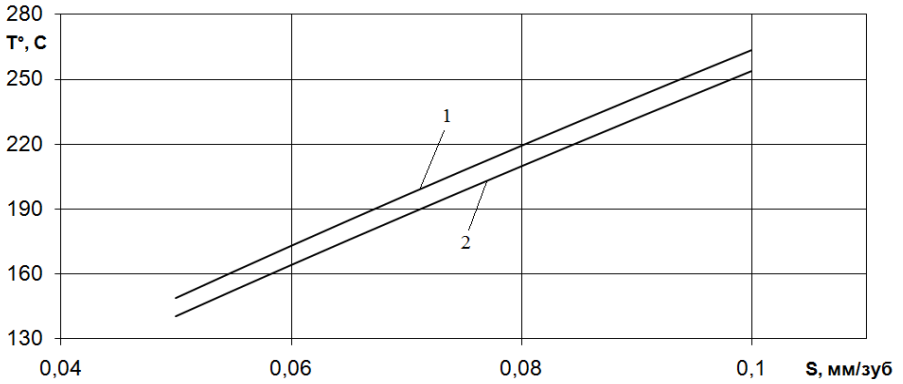


Рис. 8. Зависимость температуры обработанной поверхности от подачи при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $t = 1$ мм;
 1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

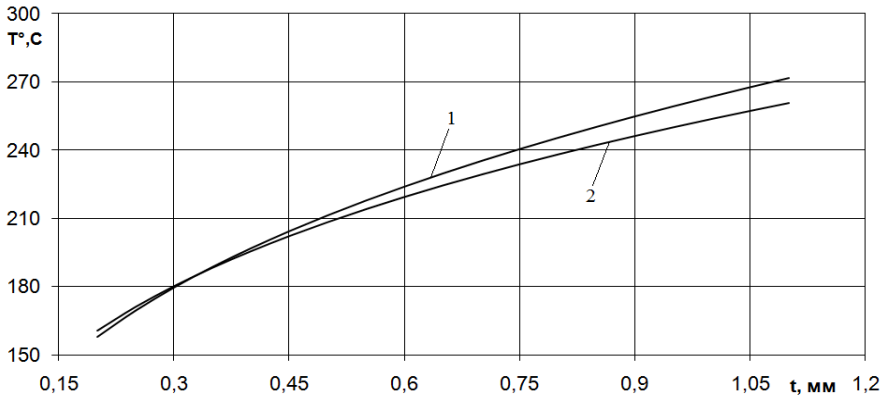


Рис. 9. Зависимость температуры обработанной поверхности от глубины при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $S = 0,1$ мм/зуб;
 1 – попутное фрезерование; 2 – встречное фрезерование

Наиболее важным при анализе тепловых процессов является определение количества тепла, поступающего в режущий инструмент и деталь.

Аналитические методы расчета тепловых потоков и температур, разработанные А.Н. Резниковым [2], дают удовлетворительное совпадение с практикой в диапазоне скоростей резания до 200 м/мин для различных методов обработки, в том числе и фрезерования. Но при определении температур для высокоскоростного резания они еще недостаточно апробированы.

В связи с этим для определения температуры при более высоких скоростях обработки в работе использовался метод конечных элементов, позволяющий получить картину распределения температур в зоне резания. При этом в качестве программного обеспечения метода конечных элементов был выбран комплекс ANSYS [3]. Начальная температура полагалась равной нормальной температуре окружающей среды 20 °С. В качестве нагрузок к модели прикладывались тепловые потоки, рассчитанные по формулам А.Н. Резникова [2] для поверхностей контакта стружки и инструмента, заготовки и инструмента, а также по линии сдвига. Время решения рассчитывалось в зависимости от режимов обработки.

Результаты численного моделирования удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными. Расхождения составляют не более 10 %. Но картины тепловых полей наглядно демонстрируют, что с увеличением скорости теплота концентрируется вблизи вершины режущего лезвия. Прогрев заготовки и режущего лезвия происходит на меньшую глубину, большая доля образующегося тепла уходит со стружкой [4].

По проведенным исследованиям можно дать следующие рекомендации:

– при совпадении условий обработки расчет сил резания, шероховатости поверхности и температуры обработанной поверхности можно вести по формулам, представленным выше;

– при фрезеровании заготовок из алюминиевого сплава Д16Т для повышения производительности обработки следует работать с наибольшей скоростью резания;

– при определенных режимах обработки рекомендуется применение фрезерования в качестве окончательной обработки, что снижает тепловую напряженность процесса и обеспечивает достаточно низкую шероховатость Ra 0,5;

– для снижения температуры резания необходимо снижать глубину резания, тем самым уменьшая зону контакта заготовки и инструмента.

Полученные в результате исследований эмпирические зависимости для сил резания, шероховатости и температуры обработанной поверхности могут быть использованы технологами при назначении режимов резания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Локтев Д.А. Тенденции в обработке резанием // Комплект: ИТО. – 2003. – № 04. – С. 21-23.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
3. ANSYS в руках инженера: Практ. рук-во / А.Б. Капун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: УРСС, 2004. – 272 с.
4. Законов О.И., Трусов В.Н., Скуратов Д.Л., Шикин В.В. Моделирование тепловых процессов при скоростном фрезеровании // Формообразование и обеспечение качества техногенных систем: ст. 2 Международ. науч.-практ. конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, ноябрь 2010. – 20-24 с.

Статья поступила в редакцию 1 марта 2012 г.

RESEARCH ON MILLING PARAMETERS FOR THE D16T ALUMINIUM ALLOY

V.N. Trusov, O.I. Zakonov, V.V. Shikin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The research on the milling of D16T aluminium alloy has been done. The influence of cutting modes on cutting forces in milling operations, the roughness of surface, and the temperature of the workpiece treated surface have been estimated. Practical recommendations are given for manufacturing according to the cutting modes of milling.

Keywords: *milling, high-speed treatment, aluminium alloy of D16T, cutting modes, cutting forces, roughness of surface, temperature.*

*Vladimir N. Trusov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Oleg I. Zakonov, Postgraduate Student.
Vladimir V. Shikin, Postgraduate Student.*