

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ 30ХГСН2ФА НА ОСНОВЕ МИНИМУМА ЭНЕРГОЗАТРАТ

© 2012 В. Н. Трусов, О. И. Законов, В. В. Шикин

В статье описано исследование процесса фрезерования стали: влияние метода фрезерования на силы резания, влияние изменения параметров режимов резания на силы резания, влияние резки на шероховатость поверхности, влияние резки на удельный расход энергии.

Фрезерование, сталь 30ХГСН2ФА, режимы резания, силы резания, шероховатость поверхности, удельные энергетические затраты.

В современном авиа- и машиностроении широко применяется сталь 30ХГСН2ФА - это высокопрочная сталь с $\sigma_B \geq 900$ МПа. Данный материал применяется в двигателях летательных аппаратов, газотурбинных комплексах, газоперекачивающих двигателях и др. Являясь высокопрочным материалом, сталь 30ХГСН2ФА также является труднообрабатываемой.

Обработка данной стали сопровождается высокой силовой и тепловой напряжённостью процесса. Данные факторы в первую очередь определяют стойкость инструмента, влияют на размерную точность обработки и качество обработанной поверхности. Поэтому важно определять силы резания, возникающие в процессе обработки.

В данной работе рассмотрено влияние параметров режима резания при цилиндрическом фрезеровании на силы резания, шероховатость обрабатываемой поверхности и удельные энергетические затраты.

Для исследования сил резания была создана экспериментальная установка. Измерение сил резания производилось с помощью трёхкомпонентного динамометра УДМ 600. Экспериментальная установка, включающая фрезу с регулируемым вылетом сменных многогранных пластин из твёрдого сплава ВК8, позволяет вести обработку на скорости до 1507 м/мин, имея радиальное биение по диаметру $\pm 0,005$ мм.

Эксперименты проводились на основе полного факторного плана, который представлен в табл. 1.

Варьируемыми факторами принимались скорость резания V , подача на зуб фрезы S_z и глубина резания t (табл. 2). Уровни варьирования факторов были выбраны на

основе ранее известных экспериментов и возможностей имеющегося оборудования.

Таблица 1. План полного факторного эксперимента (ПФЭ 2^3)

№ опыта	n , об/мин (v , м/мин)	$S_{mm/зуб}$ (мм/мин)	t , мм
1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1
4	-1	-1	+1
5	+1	+1	-1
6	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1
8	-1	-1	-1

Таблица 2. Уровни варьирования факторов

Уровни	n , об/мин (v , м/мин)	$S_{zmm/зуб}$	t , мм
Верхний(+1)	1600(1507,2)	0,1	0,5
Нижний(-1)	400(376,8)	0,05	0,25

Регрессионный анализ экспериментальных данных позволил получить следующие зависимости для сил резания при встречном и попутном фрезеровании стали 30ХГСН2ФА:

$$P_{z_g} = 1502,9 \cdot t^{0,71} \cdot S_z^{0,097} \cdot V^{-0,22} \text{ [Н]},$$

$$P_{z_n} = 3857,4 \cdot t^{0,68} \cdot S_z^{0,316} \cdot V^{-0,238} \text{ [Н]}.$$

По полученным формулам построены графики зависимости сил резания от элементов режима резания: скорости резания (V), глубины резания (t) и подачи (S_z) (рис. 1 -3). Из графиков видно, что при увеличении скорости резания силы резания снижаются при обоих способах фрезерования.

Увеличение скорости резания с 400 до 1500 м/мин приводит к снижению силы резания на 29% при попутном и на 25% при встречном фрезеровании (рис. 1).

При увеличении подачи и глубины ре-

зания силы резания увеличиваются, что обусловлено увеличением толщины срезаемого слоя.

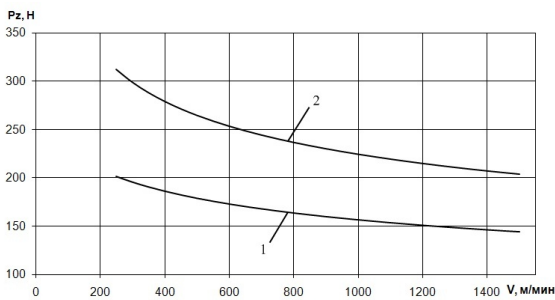


Рис. 1. Зависимость силы резания P_z от скорости резания при фрезеровании: $S = 0,1$ мм/зуб, $t = 0,5$ мм: 1- встречное фрезерование; 2- попутное фрезерование

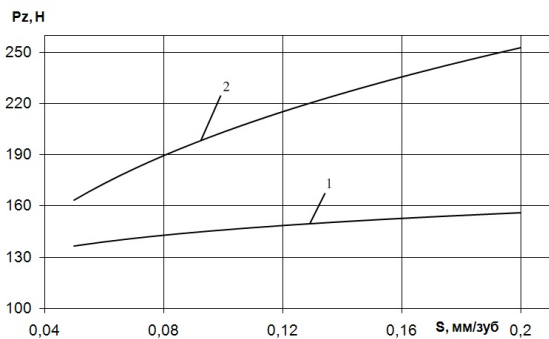


Рис. 2. Зависимость силы резания P_z от подачи при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $t = 0,5$ мм: 1- встречное фрезерование; 2- попутное фрезерование

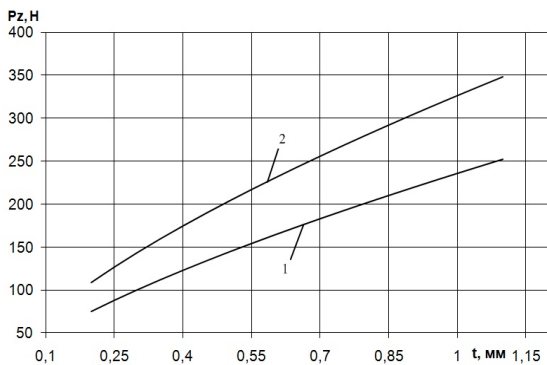


Рис. 3. Зависимость силы резания P_z от глубины резания при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $S = 0,1$ мм/зуб: 1- встречное фрезерование; 2- попутное фрезерование

Характер изменения сил резания при увеличении глубины резания при различных способах фрезерования одинаков, увеличение глубины резания в 2 раза приводит к увеличению силы резания в 1,6 раз.

Изменение подачи наиболее значительно сказывается при попутном фрезеровании. Так, увеличение подачи S_z в 2 раза

приводит к увеличению силы резания при встречном фрезеровании на 7,5%, а при попутном фрезеровании - на 20,8%.

Общий уровень сил резания при попутном фрезеровании выше, чем при встречном, в 1,4-1,5 раза.

Можно сделать вывод, что повышение скорости резания благоприятно сказывается на процессе фрезерования. Увеличение сил резания при увеличении подачи и глубины резания зависит от изменения толщины срезаемого слоя, поэтому для снижения сил резания следует уменьшать сечение среза.

Одним из показателей качества обработки деталей является шероховатость обработанной поверхности. Результаты измерения высоты неровностей, осреднённые по десяти измерениям для каждого опыта, представлены в табл. 3 и на рис. 4-6.

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

$$Ra_{в} = 270,3 \cdot t^{0,82} \cdot S^{0,96} \cdot V^{-0,26};$$

$$Ra_{п} = 57,6 \cdot t^{0,44} \cdot S^{0,45} \cdot V^{-0,34}.$$

Таблица 3. Шероховатость Ra обработанной поверхности при фрезеровании с различными режимами резания

№ опыта (см. табл. 1)	Ra , мкм (при встречном фрезеровании)	Ra , мкм (при попутном фрезеровании)
1	2,5	1,0567
2	3,22	1,6
3	1,1767	0,911
4	2,325	2,0933
5	1,4867	1,32
6	2,2233	1,475
7	0,7843	0,5367
8	0,8667	0,911

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

Экспериментальные результаты показывают возможность достижения минимальной высоты неровностей порядка Ra 0,8 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 глубина резания. При её увеличении с 0,25 до 1 мм происходит увеличение шероховатости по Ra с 1,4 до 4,5 при встречном фрезеровании и с 0,8 до 1,7 при попутном фрезеровании. Увеличение подачи приводит к практически линейному повышению шероховатости поверхности в исследованном диапазоне.

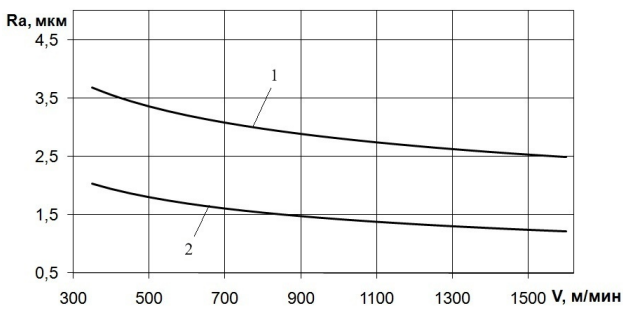


Рис. 4. Зависимость высоты неровности обработанной поверхности Ra от скорости резания при фрезеровании: $S = 0,1$ мм/зуб, $t = 0,5$ мм: 1 - встречное фрезерование; 2 - попутное фрезерование

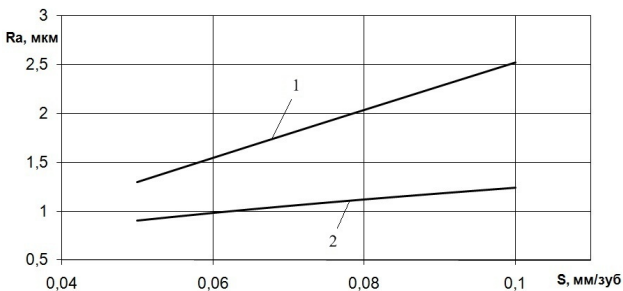


Рис. 5. Зависимость шероховатости обработанной поверхности Ra от подачи при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $t = 0,5$ мм: 1 - встречное фрезерование; 2 - попутное фрезерование

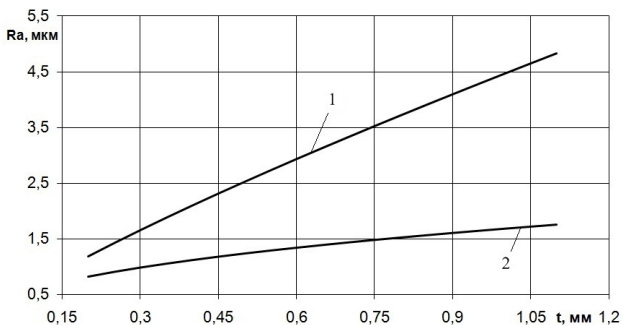


Рис. 6. Зависимость шероховатости обработанной поверхности Ra от глубины при фрезеровании: $V = 1507$ м/мин, $S = 0,1$ мм/зуб: 1 - встречное фрезерование; 2 - попутное фрезерование

Таким образом, наименьшая высота неровности поверхности достигается при

увеличении скорости резания и снижении подачи и глубины фрезерования. Для получения меньшей шероховатости поверхности при обработке стали наиболее целесообразно применять попутное фрезерование. При встречном фрезеровании наблюдается интенсивное образование нароста и наволакивание его на обработанную поверхность, что приводит к ухудшению качества обработанной поверхности.

Основными объективными показателями при формообразовании поверхностей деталей из заготовок являются удельные энергозатраты и время обработки. Эти показатели характеризуют возможности любого метода обработки как с точки зрения общих затрат, так и с точки зрения производительности процесса. Особую роль приобретают указанные показатели при структурной оптимизации технологии обработки, поскольку необходимо делать выбор между конкурирующими методами и способами обработки.

Производительность обработки в данном случае не анализировалась, поскольку она линейно зависит от режимных параметров (подачи, глубины, скорости резания). При анализе удельных энергозатрат принималась во внимание только тангенциальная составляющая силы резания P_z .

Удельные энергозатраты определялись как отношение мощности резания $N = P_z \cdot V$ к производительности процесса $\Pi = t \cdot S_z \cdot V_{\text{прод}}$, где $V_{\text{прод}}$ - скорость продольного перемещения заготовки. В таком случае зависимость для определения удельных энергозатрат ($P_{\text{уд}}$) будет выглядеть следующим образом:

$$P_{\text{уд}_e} = 12,639 \cdot t^{0,29} \cdot S^{0,903} \cdot V^{0,22} \text{ [Дж/мм}^3\text{]},$$

$$P_{\text{уд}_n} = 32,435 \cdot t^{0,32} \cdot S^{0,689} \cdot V^{0,238} \text{ [Дж/мм}^3\text{]}.$$

Закономерности изменения удельных энергозатрат от режимов обработки представлены графически на рис. 7-9.

Анализ зависимостей показывает, что, по существу, увеличение всех режимных параметров приводит к снижению удельных энергетических затрат при обработке. Наибольшее влияние на этот показатель оказывает подача на зуб фрезы, так при попутном фрезеровании происходит снижение удельных энергетических затрат приблизительно в 2,5 раза, а при встречном фрезеровании - в 3,3 раза в исследуемом диапазоне.

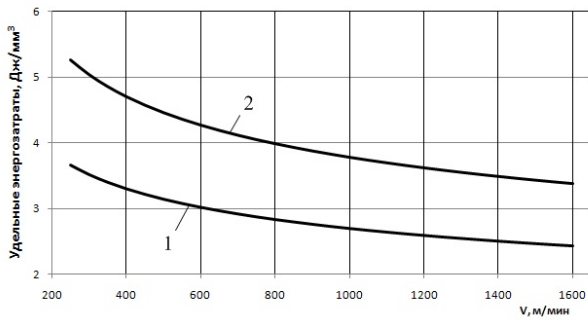


Рис. 7. Зависимость удельных энергозатрат от скорости резания при фрезеровании: $S = 0,1$ мм/зуб, $t = 0,5$ мм: 1- встречное фрезерование; 2- попутное фрезерование

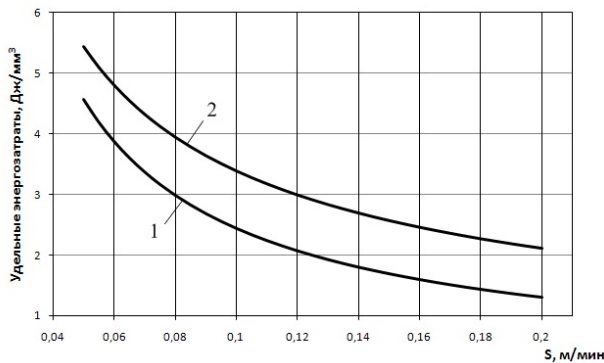


Рис. 8. Зависимость удельных энергозатрат от подачи при фрезеровании:

$V = 1507$ м/мин, $t = 0,5$ мм: 1- встречное фрезерование; 2- попутное фрезерование

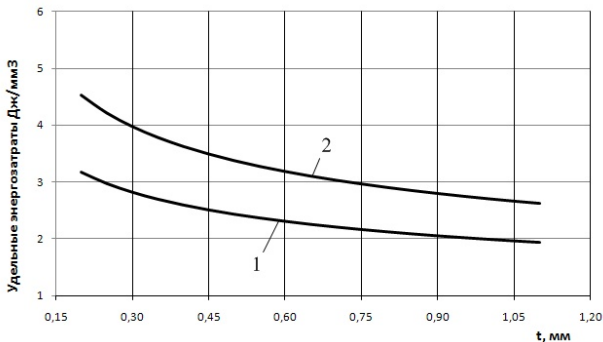


Рис. 9. Зависимость удельных энергозатрат от глубины при фрезеровании:

$V = 1507$ м/мин, $S = 0,1$ мм/зуб: 1- встречное фрезерование; 2- попутное фрезерование

Далее по степени влияния следует глубина резания. Увеличение глубины резания с 0,2 до 1,2 мм приводит к снижению удельных энергозатрат на 40% как при встречном фрезеровании, так и при попутном.

Скорость резания в наименьшей степени влияет на изменение величины удельных энергозатрат в исследуемом диапазоне. Увеличение скорости резания приводит к сни-

жению удельных энергетических затрат на 35% при обоих способах фрезерования.

Таким образом, для снижения удельных энергетических затрат целесообразно в первую очередь увеличивать подачу.

Применение встречного фрезерования является наиболее рациональным, так как в данном случае удельные энергозатраты меньше, чем при попутном фрезеровании.

Рассмотренные выше показатели (силы резания, шероховатость обрабатываемой поверхности и удельные энергетические затраты) характеризуют производительность и эффективность процесса резания. Особую роль данные показатели приобретают при оптимизации процесса фрезерования.

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать вывод, что для повышения производительности процесса резания и эффективности, а также улучшения качества поверхностного слоя необходимо в первую очередь повышать скорость резания, так как это положительно отражается на данных показателях.

Увеличение подачи приводит к увеличению сил резания, ухудшению качества обработанной поверхности, но положительно сказывается на удельных энергетических затратах. Увеличение глубины также приводит к увеличению сил резания, ухудшению качества обработанной поверхности, но благоприятно сказывается на удельных энергозатратах.

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

Библиографический список

1. Локтев, Д.А. Тенденции в обработке резанием [Текст] / Д.А. Локтев // Комплект: ИТО. - 2003.- № 04.- С. 21-23.
2. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А.А. Спиридонов. - М.: Машиностроение, 1981.- 184 с.

INCREASE TREATMENT HIGH STRENGTH STEELS 30HGSN2FA BASED ON A MINIMUM OF ENERGY CONSUMPTION

© 2012 V. N. Trusov, O. I. Zakonov, V. V. Shikin

Samara State Technical University

The research process of milling the steel. Influence of method milling on the cutting force. Effect of changes in the parameters of the cutting conditions on cutting force. The influence of the cutting on the roughness of the surface. The influence of the cutting on the specific energy consumption.

Milling, steel 30HGSN2FA, cutting modes, cutting force, surface roughness, the specific energy consumption.

Информация об авторах

Трусов Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальные системы и сервис автомобилей», Самарский государственный технический университет. E-mail: isap@samgtu.ru. Область научных интересов: структурно-параметрическая оптимизация технологических процессов механической обработки, процессы абразивной и лезвийной обработки.

Законов Олег Игоревич, аспирант кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей», Самарский государственный технический университет. E-mail: o_z@bk.ru. Область научных интересов: процессы лезвийной обработки, высокоскоростная обработка, расчёты методом конечных элементов.

Шикин Владимир Васильевич, аспирант кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей», Самарский государственный технический университет. E-mail: Dm40@bk.ru. Область научных интересов: высокоскоростное фрезерование, расчёты методом конечных элементов.

Trusov Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, manager by a department the «Instrumental systems and service of cars» of the Samara state technical university. E-mail: isap@samgtu.ru. Area of research: structural-self-reactance optimization of technological processes of tooling, processes of abrasive and cutting treatments.

Zakonov Oleg Igorevich, a postgraduate student of department is the «Instrumental systems and service of cars» of the Samara state technical university. E-mail: o_z@bk.ru. Area of research: process of metall cutting, high-speed treatment, calculations by the method of eventual elements.

Shikin Vladimir Vasil'evich, a postgraduate student of department is the «Instrumental systems and service of cars» of the Samara state technical university. E-mail: Dm40@bk.ru. Area of research: high-speed milling, calculations by the method of eventual elements.