

УДК 621.93
DOI 10.22213/2413-1172-2018-3-9-12

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПИЛЕНИЯ ТИТАНОВЫХ И КАПРОЛОНОВЫХ ЗАГОТОВОК

Е. И. Попова, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Процесс создания машины начинается с получения заготовок. Как правило, исходные заготовки в виде круглого проката или плит различного сечения разрезают на штучные заготовки. Для этого используются самые разнообразные методы, оборудование и режущий инструмент. Производители современных режущих инструментов, используемых для обработки резанием различных материалов, дают рекомендации по интервалам наиболее подходящих режимов обработки для отдельных групп материалов. Однако не всегда рекомендуемые интервалы режимов резания могут полностью удовлетворить потребителя.

На производительность обработки, к которой стремится потребитель режущего инструмента, оказывают большое влияние и размеры заготовки, и тип производства, и возможности самого технологического оборудования, поэтому найти наилучшие режимы обработки, может быть, даже в пределах указанных производителем интервалов, является актуальным для любого машиностроительного производства, где широко применяется обработка резанием самых разных материалов.

Для изготовления машин используются не только металлические материалы, но также и конструкционные пластики. Например, титан и капролон (полиамид-6). Каждый из вышеперечисленных материалов имеет свои особенности и требует отдельных режимов обработки. Применение математических моделей процесса резания и методика проведения многофакторного эксперимента позволяет уточнить режимы и снизить себестоимость обработки титана ВТ-01 и капролона.

Ключевые слова: режимы обработки, пиление, титан, капролон, заготовки, оптимизация.

Введение

Любое машиностроительное производство начинается с заготовительного производства. Современные машины включают в себя не только механические части, но и электрические схемы, электронные компоненты, радиоустройства и т. п. Различные элементы машины изготавливают из огромного разнообразия конструкционных материалов. Так, в конструкциях машин часто применяются труднообрабатываемые металлические и неметаллические материалы, например, титан и полиамиды.

Целью исследования является повышение производительности и снижение себестоимости обработки в заготовительном производстве при получении штучных заготовок, что является актуальной проблемой, особенно для материалов, которые трудно поддаются обработке резанием.

Обработка заготовок пилением

Одним из высокопроизводительных методов в заготовительном производстве является получение штучных заготовок на ленточнопильных станках.

Следует отметить следующие достоинства данного метода:

– возможность обрабатывать заготовки в большом интервале размеров;

– более высокая производительность ленточного пиления по сравнению с традиционными способами обработки (резка и отрезка на фрезерных, токарных и отрезных станках и т. п.);

– меньший расход материала и меньше погрешностей после обработки.

К недостаткам можно отнести довольно высокую стоимость ленточнопильных полотен. Однако этот недостаток можно компенсировать подбором оптимальных режимов обработки для увеличения стойкости пилы в зависимости от размеров распиливаемых заготовок и обрабатываемых материалов. Часто стойкость пилы ограничивается образованием трещин на полотне пилы из-за большого количества циклов перегиба полотна на станке во время работы (рис. 1). Фактические действующие усилие резания и усилие подачи при заданных режимах резания могут быть определены только экспериментально [1].

Планирование, проведение двухфакторных экспериментов и математические модели процесса пиления заготовок из титана ВТ-01 и капролона

Производители современных режущих инструментов, используемых для обработки резанием различных материалов, дают рекомендации по интервалам наиболее подходящих режимов

обработки для отдельных групп материалов. Однако не всегда рекомендуемые интервалы режимов резания могут полностью удовлетворить потребителя.

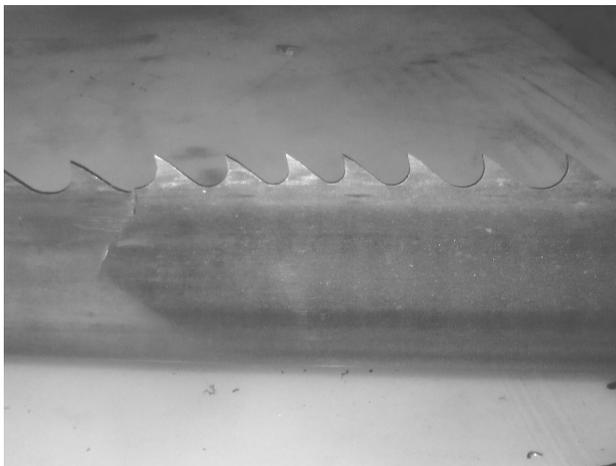


Рис. 1. Трещина на полотне пилы

Используя теорию планирования многофакторного эксперимента [2] и методы линейного программирования для оптимизации режимов резания [3, 4], можно найти наилучшие режимы обработки для различных материалов, решив проблему повышения не только качества обработки, но и снижения ее трудоемкости и себестоимости [5].

Были выбраны заготовки из круглого проката титана ВТ1-0 и капролона (ПА6 – полиамид-6) для исследования процесса пиления на ленточнопильном станке PP362CNC (рис. 2).

Для проведения оптимизации режимов резания были определены два влияющих фактора и составлена матрица планирования. Выходной параметр y , функция отклика (стойкость пилы T) были связаны с независимыми переменными (факторами) – основными технологическими

параметрами – скоростью резания пилы $V(\tilde{x}_1)$ и минутной подачей $S(\tilde{x}_2)$. Интервалы варьирования факторов для титана ВТ1-0 были выбраны следующие: скорость резания в пределах 35...45 м/мин, минутная подача в пределах 10...14 мм/мин. Для капролона скорость резания меняется в диапазоне 100...125 м/мин, а минутная подача – 40...60 мм/мин.



Рис. 2. Станок ленточнопильный PP362CNC

Переход от натуральных значений \tilde{x}_i к безразмерным x_i осуществляется с помощью уравнения преобразования [6]:

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{i\max})}{\ln \tilde{x}_{i\max} - \ln \tilde{x}_{i\min}} + 1. \quad (1)$$

После проведения экспериментов и обработки результатов измерений должна получиться зависимость в виде

$$T = C_T V^{a1} S^{a2}. \quad (2)$$

В табл. 1 и 2 представлены результаты экспериментов [7].

Таблица 1. Результаты эксперимента для титана ВТ1-0

| № опыта | Повторение опыта | $T/1000$, мин (\tilde{y}) | $\ln(T/1000)$ (y) | $(T/1000)$ среднее, для каждого опыта | $\ln(T/1000)$ сред (\bar{y}) | Построчная дисперсия S_n^2 |
|---------|------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 1,440 | 0,364 | 1,411 | 0,344 | 0,000841 |
| | 2 | 1,382 | 0,323 | | | |
| 2 | 1 | 1,211 | 0,191 | 1,201 | 0,183 | 0,0000905 |
| | 2 | 1,192 | 0,175 | | | |
| 3 | 1 | 1,680 | 0,518 | 1,692 | 0,526 | 0,0001565 |
| | 2 | 1,705 | 0,533 | | | |
| 4 | 1 | 1,435 | 0,361 | 1,472 | 0,387 | 0,001369 |
| | 2 | 1,509 | 0,411 | | | |

Таблица 2. Результаты эксперимента для капролона

| № опыта | Повторение опыта | $T/1000$, мин (\bar{y}) | $\ln(T/1000)$ (y) | $(T/1000)$ среднее, для каждого опыта | $\ln(T/1000)$ сред (\bar{y}) | Построчная дисперсия S_n^2 |
|---------|------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 3,37 | 1,215 | 3,363 | 1,213 | 0,0000563 |
| | 2 | 3,355 | 1,210 | | | |
| 2 | 1 | 3,844 | 1,347 | 3,841 | 1,346 | 0,0000122 |
| | 2 | 3,837 | 1,345 | | | |
| 3 | 1 | 3,362 | 1,213 | 3,360 | 1,212 | 0,0000062 |
| | 2 | 3,357 | 1,211 | | | |
| 4 | 1 | 4,088 | 1,408 | 4,084 | 1,407 | 0,0000203 |
| | 2 | 4,079 | 1,406 | | | |

Используя формулы (1), (2) и данные табл. 1 и 2, получим следующие зависимости для титана ВТ1-0 (3) и капролона (4):

$$T = \frac{2299V^{0,595}}{S^{0,571}}; \tag{3}$$

$$T = \frac{154698}{V^{0,735} S^{0,074}}. \tag{4}$$

В качестве оценочной функции для определения минимальной себестоимости используем выражение

$$F_{\min} = \frac{c}{nS}, \tag{5}$$

где c – коэффициент, не зависящий от режимов резания n (частота вращения) и S (подача) [3].

Перейдем от скорости резания V к частоте вращения n , используя зависимость

$$n = \frac{1000V}{\pi D_{\text{шквива}}}. \tag{6}$$

Зададим ограничения в виде систем неравенств для титана ВТ1-0 (7) и капролона (8):

$$\begin{cases} x_1 \geq 26,8, \\ x_1 \leq 34,5, \\ x_2 \geq 10, \\ x_2 \leq 14, \\ \frac{2691x_1^{0,595}}{x_2^{0,571}} \geq 1440, \end{cases} \tag{7}$$

где x_1 – частота вращения n (об/мин), x_2 – подача S (мм/мин);

$$\begin{cases} x_1 \geq 76,7, \\ x_1 \leq 95,5, \\ x_2 \geq 40, \\ x_2 \leq 60, \\ \frac{127428}{x_1^{0,735} x_2^{0,074}} \geq 3360. \end{cases} \tag{8}$$

На рис. 3 представлено графическое решение математической модели оптимизации режимов резания и область, заштрихованная в двух направлениях, – область максимальной стойкости и оптимальных значений частоты вращения и подачи при пилении заготовок из титана ВТ-01.

Аналогично на рис. 4 представлены оптимальные значения режимов резания для капролона.

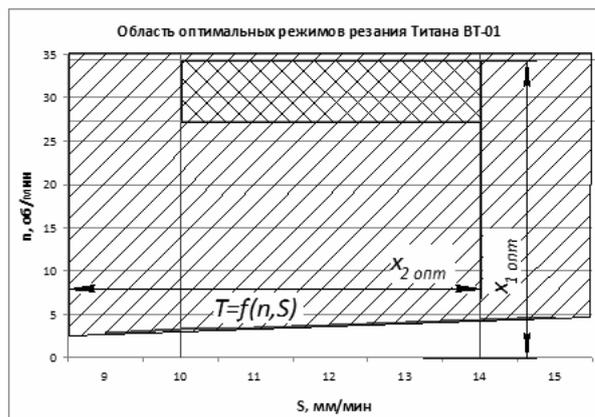


Рис. 3. Графическое изображение математической модели процесса пиления заготовок из титана ВТ-01

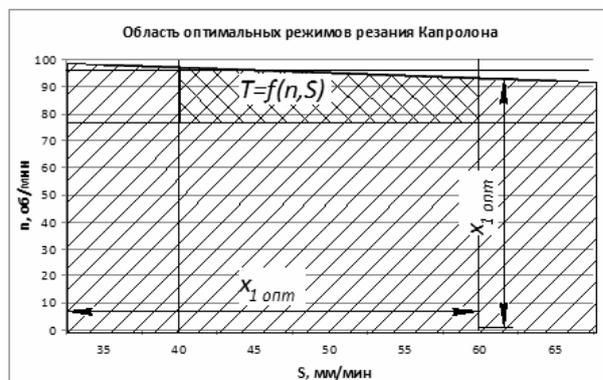


Рис. 4. Графическое изображение математической модели процесса пиления заготовок из капролона

Выводы

Таким образом, проведенные многофакторные эксперименты для обработки заготовок из титана VT-01 и капролона, а также математические модели процесса пиления в виде неравенств (7) и (8) позволили найти оптимальные режимы, при которых обеспечивается минимальная себестоимость обработки и наибольшая стойкость режущего инструмента (ленточной пилы). Это позволяет повысить производительность и снизить себестоимость обработки заготовок из титана VT-01 и капролона.

Библиографические ссылки

1. Литвинов А. Е., Корниенко В. Г. Исследование процесса резания на ленточнопильных станках // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 91(07). С. 570–579.
2. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Наука, 1976. 279 с.
3. Технология машиностроения : Сборник задач и упражнений : учеб. пособие / В. И. Аверченко [и др.] ; под общ. ред. В. И. Аверченко и Е. А. Польского. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Инфра-М, 2010. 288 с. ISBN 978-5-16-003816-2.
4. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для вузов / И. П. Филонов, Г. Я. Беляев, Л. М. Кожуро [и др.] ; под общей ред. И. П. Филонова. Минск : ТЕХНОПРИНТ, 2003. 910 с. ISBN 985-464-385-9.
5. Попова Е. И., Пузанов Ю. В., Воробьев Я. В. Оптимизация режимов резания при фрезеровании заготовок из гетинакса : сборник материалов междунар. науч.-практ. конф. Кемерово : Западно-Сибирский научный центр, 2016. Т. 2. С. 243–247. ISBN 978-9907781-5-3.
6. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. Изд-е 2-е, перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1974. 231 с.

7. Полякова И. О. Оптимизация режимов обработки при разрезании заготовок из титановых сплавов и капролона : дис. на соискание ак. степени магистра по напр. 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Ижевск, 2017. 83 с.

References

1. Litvinov A. E., Kornienko V. G. [Study of the cutting process on band saws]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*, 2013, no. 91(07), pp. 570-579 (in Russ.).
2. Adler Ju. P., Markova E. V., Granovskij Ju. *Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyj uslovij* [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 279 p. (in Russ.).
3. Averchenko V. I., Pol'skij E. A. (eds.) *Tehnologija mashinostroenija : Sbornik zadach i uprazhnenij* [Technology of mechanical engineering: Collection of tasks and exercises]. Moscow, Infra-M Publ., 2010, 288 p. (in Russ.). ISBN 978-5-16-003816-2.
4. Filonov I. P., Beljaev G. Ja., Kozhuro L. M. *Proektirovanie tehnologicheskikh processov v mashinostroenii* [Design of technological processes in mechanical engineering]. Minsk, TEHNOPRINT Publ., 2003, 910 p. (in Russ.). ISBN 985-464-385-9.
5. Popova E. I., Puzanov Ju. V., Vorob'ev Ja. V. [Optimization of cutting modes when milling workpieces from getinaks]. *Sbornik materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kemerovo, Zapadno-Sibirskij nauchnyj centr Publ.*, 2016, vol. 2, pp. 243-247 (in Russ.). ISBN 978-9907781-5-3.
6. Kacev P. G. *Statisticheskie metody issledovaniya rezhushhego instrumenta* [Statistical methods for the study of cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974, 231 p. (in Russ.).
7. Poljakova I. O. *Optimizacija rezhimov obrabotki pri razrezanii zagotovok iz titanovyh splavov i kaprolona* [Optimization of processing modes for cutting titanium alloy and caprolated billets]: *dis. na soiskanie ak. stepeni magistra po napr. 15.04.05 «Konstruktorsko-tehnologicheskoe obespechenie mashinostroitel'nyh proizvodstv»*. Izhevsk, 2017, 83 p. (in Russ.).

Optimal Modes Calculation of Sawing Titanium and Nylon Workpieces

E. I. Popova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The process of creating a machine begins with producing of workpieces. As a rule, the initial round bars or slabs of different cross-section workpieces are cut into single pieces. There is the variety of applied methods, equipment and cutting tools. Modern cutting tools manufacturers give recommendations on the range of the most appropriate cutting modes for different material groups. However, sometimes the recommended cutting modes ranges can not completely satisfy the consumer. The workpiece dimension, producing output, and the technological equipment possibilities greatly influence the productivity of processing, which the cutting tool consumer seeks for.

That is why, to find the best processing modes, even within the range specified by the manufacturer, is relevant for any machine-building industry, where cutting a wide variety of materials is widely used. To manufacture machines not only metal materials, but structural plastics (titanium and Nylon 6) are also used. Each of these materials has its own characteristics and requires special processing modes. The applied mathematical models of the cutting process and the methodology of multifactor experiment allow us to determine the sawing modes and reduce the Titanium VT-01 and Nylon processing costs.

Keywords: cutting modes, sawing, titanium, nylon, workpieces, optimization.

Получено 18.06.2018