

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНКОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ**А.Ж. Бексултанова**

aselyab_96@mail.ru

SPIN-код: 8580-9328

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Рассмотрена наиболее прогрессивная и быстроразвивающаяся технология обработки металлов — высокоскоростная обработка резанием (ВСО). Применение ВСО позволяет повысить технологичность производства, что способствует повышению качества готовых изделий и снижению себестоимости благодаря упрощению технологического процесса, а также эффективному использованию станков с числовым программным управлением. Обоснована целесообразность внедрения ВСО на предприятиях станкостроения, поскольку современные станки можно спроектировать с заранее заданными характеристиками, такими как высокая статическая и динамическая жесткость, температурная стабильность, обеспечение свободного схода стружки и разработкой высокооборотных шпиндельных узлов.

Ключевые слова

Высокоскоростное резание, труднообрабатываемые материалы, высокооборотный мотор-шпиндель, датчики, силы резания, виброустойчивость

Поступила в редакцию 01.02.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Внедрение ВСО — одно из наиболее важных и перспективных направлений в машиностроении. В последнее время интерес предприятий к данной обработке стремительно увеличивается. С помощью ВСО можно добиться максимальной производительности резания. Кроме того, в некоторых случаях использование ВСО является единственным возможным способом изготовления деталей [1].

Под высокими скоростями резания принято понимать скорости, при которых материал заготовки в зоне его контакта с инструментом не только размягчается, но и может расплавляться. При этом остальные параметры режима резания — глубина резания и подача — должны быть малыми.

Сущность ВСО заключается в том, что скорость резания возрастает в 10 и более раз по сравнению с обычными режимами обработки данного металла (для сталей и чугунов — порядка 100...300 м/мин, а для закаленных сталей — еще ниже). Скорость резания при ВСО может составлять до 7000 м/мин и более [2, 3].

Особенностью ВСО металлов является снижение сил резания и перераспределения теплоты в зоне резания. При небольших сечениях срезаемого слоя основная часть теплоты остается в стружке, не успевая переходить в заготовку, таким образом, возникает возможность обрабатывать закаленные стали, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Благодаря этому при ВСО теплота более

благоприятно распределяется в системе СПИЗ (станок — приспособление — инструмент — заготовка), чем при умеренных скоростях [2, 3].

Поскольку 75...95 % образующейся тепловой энергии во время обработки остается в стружке, ВСО можно проводить без смазочно-охлаждающей жидкости [4].

Развитие ВСО долгое время ограничивалось технологическими возможностями режущего инструмента, оборудования и станков с ЧПУ [1].

Основными достоинствами данной технологии являются:

- снижение сил резания, поскольку инструмент практически не встречает сопротивления материала;
- уменьшение шероховатости обработанных поверхностей благодаря размягчению и особенно расплавлению материала в ходе резания (в отдельных случаях поверхность может оказаться зеркальной);
- отсутствие термических деформаций заготовок (поскольку скорость резания выше скорости распространения теплоты в заготовке, последняя остается холодной).

Таким образом, главным достоинством этой технологии является максимально возможная точность обработки, которая обеспечивается практическим отсутствием сил резания и температурных деформаций заготовки.

Необходимую для каждой пары материалов (заготовка — инструмент) скорость резания подбирают экспериментально. Диапазон скоростей резания различных конструкционных материалов может колебаться примерно от 200 до 7000 м/мин и более. Нижние границы диапазона скоростей характерны для труднообрабатываемых титановых сплавов (рис. 1).

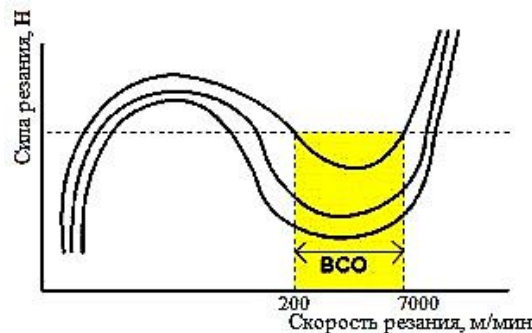


Рис. 1. Область снижения сил резания при ВСО

Отметим, что при увеличении скорости резания условия работы режущей кромки лезвия резца ухудшаются. Количество образовавшейся теплоты при ВСО на режущей кромке превышает количество теплоты при обычных скоростях резания. Это вызвано тем, что резец получает теплоту из большего количества частиц стружки за то же время, чем при обработке с обычной скоростью [5].

Для уменьшения воздействия указанных неблагоприятных факторов резания к материалу резцов предъявляют особые требования: высокая теплостойкость инструмента, износостойкость, виброустойчивость и т. д. Этим требованиям отвечают

современные твердые сплавы, синтетические сверхтвердые материалы на основе поликристаллических алмазов (СТМ), минералокерамика на основе Al_2O_3 .

Принцип ВСО. Основной принцип ВСО заключается в получении среза малого сечения при высоких скоростях резания и подачи инструмента. При ВСО эти скорости в 5–10 раз выше, чем при обычной обработке. Рекомендуемая глубина резания, например, при фрезеровании (рис. 2), не должна превышать 10 % диаметра фрезы.

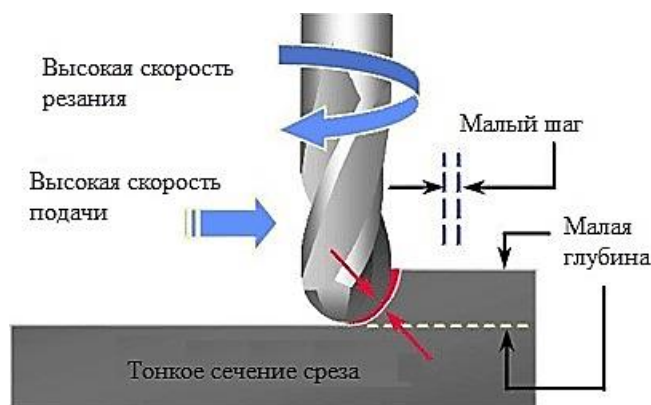


Рис. 2. Схема высокоскоростной обработки

При ВСО помимо уменьшения крутящего момента в зоне высоких скоростей происходит перераспределение количества теплоты в зоне резания. При данной обработке скорость подачи превышает скорость теплопроводности обрабатываемого материала, поэтому основная доля количества теплоты концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку и инструмент. Таким образом, с помощью ВСО можно фрезеровать закаленные стали, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Исследования показали, что 75 % теплоты отводится со стружкой, 20 % — через инструмент и 5 % — через заготовку.

Таким образом, применение ВСО позволяет:

- повысить качество обработки;
- обрабатывать материалы, чувствительные к перегреву;
- эффективно использовать станки с ЧПУ;
- перейти от электроэрозионной обработки и шлифования к лезвийной обработке;
- сократить время обработки и упростить технологические процессы, в которых исключается эрозионная обработка и ручная доводка;
- выполнять скоростную обработку резанием труднообрабатываемых материалов [6].

Достоинства ВСО позволяют применять ее в следующих областях [7]:

- обработка длинных тонкостенных алюминиевых заготовок (например, заготовки деталей крыла и фюзеляжа самолетов). К таким деталям обычно предъявляются высокие требования по качеству обработки. Учитывая большие объемы срезаемого металла, высокого качества данных деталей можно добиться

только путем применения ВСО (скорость резания 1 500...3 000 м/мин, частоты вращения шпинделя 15 000...50 000 об/мин, а также высокие подачи), поскольку благодаря небольшим сечениям среза силы резания невелики;

- обработка изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов в аэрокосмической и автомобильной промышленности;

- обработка штампов и пресс-форм, характеризующихся жесткими допусками, высокой точностью и низкой шероховатостью поверхности;

- изготовление деталей малых размеров, миниатюрных деталей в медицине и других отраслях, включая нанотехнологию;

- изготовление деталей в ювелирной промышленности.

В настоящее время данная обработка получила всемирное признание. Вместе с тем ВСО довольно непростой процесс и предъявляет ряд жестких требований ко всем ее составляющим, требует высокой степени оптимизации, так как безупречная работа возможна только в очень узкой области технологических параметров.

Станки для ВСО. Для ВСО следует проектировать станки, которые должны быть оснащены высокоскоростным шпинделем, частота вращения которого должна находиться в пределах 12 000...40 000 об/мин.

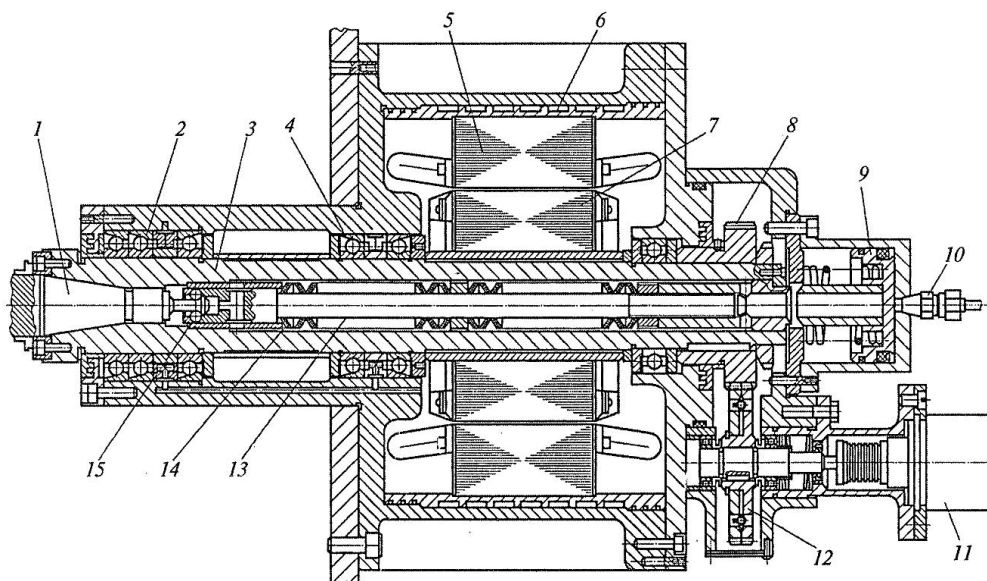


Рис. 3. Мотор-шпиндель:

1 — инструментальная оправка; 2, 4 — шпиндельные опоры; 3 — шпиндель; 5 — статор; 6 — рубашка охлаждения; 7 — ротор; 8, 12 — зубчатые колеса; 9 — поршень; 10 — патрубок; 11 — датчик частоты вращения; 13 — шток; 14 — тарельчатые пружины; 15 — шарики

Шпиндели (рис. 3) для ВСО оснащают различными датчиками, для отслеживания положения шпиндельного вала, температуры и вибрации. С помощью полученных данных от датчиков по команде от устройства ЧПУ осуществляется

компенсация. Датчики температуры на подшипниках предостерегут от перегрева шпинделя, посылая сигналы в УЧПУ об ошибках. Датчик вибрации также предупредит о чрезмерной вибрации, которая может быть вызвана, например, неправильной балансировкой патронов. Такие «умные» шпиндели должны обеспечить долгую службу станков, снизить их простои, реализовать безлюдную технологию [8, 9–11].

В станке, проектируемом для ВСО, скорость подач должна составлять 40...60 м/мин, скорость быстрого перемещения — около 90 м/мин, при этом станок должен обрабатывать малые перемещения 1...20 мкм [7].

Проектируемые станки должны отвечать следующим требованиям:

- быть достаточно мощными, жесткими и виброустойчивыми;
- иметь возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя;
- обладать хорошо смазывающийся и сбалансированный шпиндель;
- предусматривать конвейерную уборку стружки;
- иметь систему надежного обильного охлаждения лезвий инструментов.

Вывод. Станок, разработанный специально для ВСО, позволит повысить технологичность производства, тем самым улучшить качество готовых изделий, снизить их стоимость благодаря упрощению технологического процесса и сокращению времени обработки.

Литература

- [1] Бексултанова А.Ж. К разработке шпиндельных узлов для высокоскоростного резания. *Политехнический молодежный журнал*, 2017, № 8. URL: <http://ptsj.ru/catalog/menms/form/148.html> (дата обращения 14.12.2017).
- [2] Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. *Резание металлов и режущие инструменты*. Москва, Инфра-М, 2011, 416 с.
- [3] Суслов А.Г. *Технология машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2007, 430 с.
- [4] Кожевников Д.В., Гречишников В.Л., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. *Режущий инструмент*. Москва, Машиностроение, 2005, 568 с.
- [5] Анисимов Р.В., Тарапанов А.С. Современные технологии и оборудование для зубодобления колес с внутренними зубьями. *Региональная научно-практическая конференция молодых ученых и аспирантов «Научный потенциал Орловщины в модернизации промышленного комплекса малых городов России»*. Орел, 2010, с. 4–8.
- [6] Саблин П.А. *Повышение эффективности высокоскоростной механической обработки при фрезеровании*. Дисс. ... канд. тех. наук. Комсомольск-на-Амуре, КнАГТУ, 2008, 141 с.
- [7] Валевский А.К., Орликовский М.С. *Высокоскоростная обработка. Новые технологии и импортозамещение в промышленности Новосибирской области и региона*. Новосибирск, 2015, с. 5–7.

- [8] Вереина Л.И. *Металлообрабатывающие станки*. Москва, Инфра-М, 2016, 440 с.
- [9] Вереина Л.И. Внедрение высокоскоростного резания на эксплуатируемой станке. *Ремонт. Восстановление. Модернизация*, 2017, № 1, с. 40–43.
- [10] Черпаков Б.И., Вереина Л.И. *Технологическое оборудование машиностроительного производства*. Москва, Изд. центр «Академия», 2005, 416 с.
- [11] Вереина Л.И. Современное состояние отечественного станкостроения и его восстановление. *Технология металлов*, 2016, № 10, с. 43–48.

Бексултанова Асель Жуматаевна — студентка кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Вереина Людмила Ивановна, доцент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

DESIGNING HIGH-SPEED CUTTING MACHINE-TOOLS

A.Zh. Beksultanova

aselyab_96@mail.ru

SPIN-code: 8580-9328

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers the most advanced and fast-evolving metal processing technology — high-speed cutting (HSC). The application of HSC allows increasing the production effectiveness which contributes to the improvement of the manufactured products quality and reduction of costs due to the manufacturing procedure simplification as well as the efficient use of the numerically controlled machine tools. We justify the expediency of the HSC implementation at the machine tool building enterprises, since modern machine-tools can be designed with predetermined characteristics such as high static and dynamic stiffness, thermal stability, providing the free fall of swarf and developing high-rpm spindle units.

Keywords

High-speed cutting, hard-to-cut materials, high-rpm motor-spindle, sensors, cutting tool forces, vibration resistance

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Beksultanova A.Zh. On developing spindle units for high-speed machining. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2017, no. 8. Available at: <http://ptsj.ru/catalog/menms/form/148.html> (accessed 14 December 2017).
- [2] Solonenko V.G., Ryzhkin A.A. Rezanie metallov i rezhushchie instrumenty [Metal cutting and cutting tools]. Moscow, Infra-M publ., 2011, 416 p.
- [3] Suslov A.G. Tekhnologiya mashinostroeniya [Mechanical engineering technology]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2007, 430 p.
- [4] Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.L., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Skhirtladze A.G. Rezhushchiy instrument [Cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2005, 568 p.
- [5] Anisimov R.V., Tarapanov A.S. Sovremennye tekhnologii i oborudovanie dlya zubodoblenniya koles s vnutrennimi zub'yami [Modern technologies and equipment for shaping of gears with internal teeth]. *Regional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh i aspirantov «Nauchnyy potentsial Orlovshchiny v modernizatsii promyshlennogo kompleksa malyykh gorodov Rossii»* [Regional Sci.-Pract. Conf. of Young Scientists and Postgraduates "Scientific Resources of Orel Region in Modernization of Industrial Complex of Russian Small Towns"]. Orel, 2010, pp. 4–8.
- [6] Sablin P.A. Povyshenie effektivnosti vysokoskorostnoy mekhanicheskoy obrabotki pri frezerovanii. Diss. kand. tekhn. nauk [Efficiency improvement of high-speed mechanical machining in process of milling. Kand. tech. sci. diss.]. Komsomol'sk-na-Amure, KnAG-TU publ., 2008, 141 p.
- [7] Valevskiy A.K., Orlikovskiy M.S. Vysokoskorostnaya obrabotka [High-speed machining]. *Novye tekhnologii i importozameshchenie v promyshlennosti Novosibirskoy oblasti i regiona* [New technologies and import phase-out in industry of Novosibirsk region]. Novosibirsk, 2015, pp. 5–7.

- [8] Vereina L.I. *Metalloobrabatyvayushchie stanki* [Metal-working machinery]. Moscow, Infra-M publ., 2016, 440 p.
- [9] Vereina. L.I. Implementation of high-speed cutting on operating machine-tool. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Repair, Reconditioning, Modernization], 2017, no. 1, pp. 40–43.
- [10] Cherpakov B.I., Vereina L.I. *Tekhnologicheskoe oborudovanie mashinostroitelnogo proizvodstva* [Machinery production equipment]. Moscow, Akademiya publ., 2005, 416 p.
- [11] Vereina L.I. Current state of Russian machine-tool industry and restoration of this field. *Tekhnologiya metallov* [Technology of Metals], 2016, no. 10, pp. 43–48.

Beksultanova A.Zh. — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — L.I. Vereina, Assoc. Professor, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.