

УДК 658.562.012.7;658.563

КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

О.А. Сидуленко*, М.С. Остапенко, Д.С. Василега

Тюменский государственный нефтегазовый университет

*Томский политехнический университет

E-mail: ms_ostapenko@mail.ru

Разработана методика оценки качества металлорежущего инструмента. Установлены потребительские требования, факторы условий применения, технические показатели. Показано, что фактором, связывающим все интересующие характеристики, является температура резания. На основании этого создана модель качества сборных токарных резцов.

Ключевые слова:

Управление качеством, квалиметрия, металлорежущий инструмент, температура резания.

Key words:

Quality management, qualimetry, metal-cutting tool, cutting temperature.

Существенной проблемой квалиметрии является определение показателей качества и взаимосвязей между ними. Особенно остро данная проблема стоит для отраслей, производящих наукоемкую продукцию.

Существует и еще одна проблема, связанная с критериальным отбором показателей качества. Специалисты по управлению качеством недостаточно внимания уделяют оценке и определению основных показателей качества продукции, наиболее важных для потребителя, например, показателей назначения и функциональности в связи со сложностью их однозначного определения. Они концентрируют свое внимание на показателях, которые легко определить, но которые не имеют для потребителя решающего значения, например, показателях стандартизации и унификации, патентно-правовых и т. д. Это в большей степени относится к наукоемкой продукции. Еще более остро данная проблема ощущается в сфере производства средств производства, в частности, металлорежущего инструмента.

В настоящее время оценка качества металлорежущего инструмента не проводится в связи с отсутствием таковых методик и сложностью однозначного определения показателей качества металлорежущего инструмента, а решения о выборе инструмента принимаются на основе субъективного мнения специалистов предприятий или по результатам эксперимента, что в первом случае приводит к большой вероятности ошибок, а во втором — к большим экономическим и временным затратам.

Таким образом, возникла насущная необходимость в разработке методики оценки качества и определения показателей качества металлорежущего инструмента, которые будут отражать все важные характеристики создаваемого продукта, а самое главное — взаимосвязи между ними. В данной работе решение этих задач рассмотрено на примере сборных токарных резцов.

В общем виде оценку качества проводили по следующему алгоритму, рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм процесса оценки качества металлорежущего инструмента

Реализацию данного алгоритма необходимо начинать с установления потенциальных потребителей продукции и выявления рисков прекращения существования рассматриваемой продукции на рынке. Рынок режущего инструмента, как товара промышленного назначения, отличается от рынка товаров широкого потребления следующими характеристиками: на нем меньше покупателей; эти немногочисленные покупатели крупнее и сконцентрированы географически. В основном, — это крупные промышленные центры.

В результате проведенных нами логистических исследований инструментальных служб машиностроительных предприятий была установлена следующая структура применяемого на предприятиях режущего инструмента по видам: токарные резцы — 25 %, фрезы — 18 %, свёрла — 11 %. Эти результаты находятся в хорошем согласии со структурой мирового рынка, где, как известно, металлообрабатывающие инструменты составляют: 23 % — резцы, фрезы — 17 %, свёрла — 13 % — от общего объема [1].

В связи с тем, что доминирующая составляющая рынка данного инструмента приходится на токарные резцы, целесообразно рассмотреть проблемы квалитетического анализа режущего инструмента на их примере.

Доля покупного инструмента в системе инструментального обеспечения исследуемых предприятий составила 82 %, остальная часть приходится на инструмент собственного изготовления. Неудовлетворенность качеством покупного инструмента достигает 70 % от числа опрошенных, при этом никто не проводит предварительной оценки качества инструмента при его приобретении. Вопрос качества инструмента, реализуемого в России, сегодня стоит особенно остро. На рынке появляется всё больше инструмента фирм дальнего зарубежья. Растёт предложение инструмента низкого и среднего качества из Китая и стран Юго-Восточной Азии, а также высококачественного режущего инструмента из Германии, Франции, Швеции и других стран. В то же время, потребители инструмента уделяют мало внимания оценке качества приобретаемого инструмента, что связано, в основном, с отсутствием объективной методики его оценки.

Что касается рисков прекращения существования рассматриваемой продукции на рынке, то в данном случае необходим постоянный мониторинг технологий, представляющих потенциальные угрозы. На сегодняшний день такую угрозу несут разработки в области нанотехнологий, которые позволяют изготавливать изделия и материалы, исключая машинную обработку. Однако, нанотехнологии такого уровня имеются пока только в отдельных научных лабораториях и еще достаточно продолжительное время будут оставаться предметом фундаментальных исследований. По нашим оценкам полностью или в значительной мере заменить металлообрабатывающее оборудование и соответственно отказаться от металлорежущего инструмента в ближайшие 20–25 лет будет невозможно.

Формирование информации о потребительских требованиях

Формирование списка потребительских требований (ПТ) целесообразно производить на основании опросов потребителей. Существует три класса вопросов, используемых при анкетировании потенциальных потребителей [1]: вопросы с закрытыми ответами, с открытыми ответами и промежуточные (альтернативные, разъясняющие, наводящие и т. д.).

В данной работе предпочтение было отдано вопросам с открытыми ответами, т. к. они дают наиболее полную и точную информацию, несмотря на то, что вопросы с закрытыми ответами легче обрабатывать.

В результате реализации процедуры формирования списка ПТ сформулирован список основных ПТ для токарных резцов с сборными металлорежущими пластинами (СМП):

- Производительность.
- Надежность.

Структурирование информации, установление взаимосвязей

Построению информационной модели объекта предшествует этап сбора всей доступной информации об объекте и условиях применения и т. д. В рамках экспертных процедур построение этой модели разбиваем на следующие этапы:

- определение факторов условий применения (ФУП) однородной продукции;
- определение технических показателей (ТП) однородной продукции;
- построение и оценивание связей ТП с ПТ;
- определение связей пар ТП-ФУП в виде ограничений.

В результате проведения экспертной процедуры определения ФУП для токарных резцов с СМП были установлены следующие факторы условия применения:

- виды обрабатываемых поверхностей;
- шероховатость обработанной поверхности;
- глубина обработки;
- характеристики обрабатываемого материала.

В результате экспертной процедуры для токарных резцов с СМП были установлены следующие технические показатели:

- характеристики инструментального материала;
- α – задний угол;
- r – радиус при вершине;
- $\delta = 90^\circ - \gamma$ – угол резания, где γ – передний угол;
- $\chi = 90^\circ + \lambda$ – угол между главной режущей кромкой и вектором скорости, где λ – угол наклона главной режущей кромки;
- φ – главный угол в плане;
- ε – угол при вершине;
- t – толщина пластины;
- наличие твердосплавной подложки и ее толщина;
- схема базирования и крепления пластин.

Связь технических показателей и факторов условий применения с потребительскими требованиями

В отличие от многих видов продукции, требования потребителей относятся в большей степени не к самому металлорежущему инструменту, а к процессу резания (производительности). Поэтому для адекватной оценки качества металлорежущего инструмента целесообразно на данном этапе установить и оценить связи потребительских требований не только с техническими показателями, но и с факторами условий применения, т. к. некоторые из них влияют на качество металлорежущего инструмента не только в виде ограничений, но и непосредственно.

Определение основных потребительских требований (производительности и надежности) затруднено даже в производственных условиях и невозможно на ранних этапах создания инструмента. Учитывая то, что данные показатели существенно зависят от обрабатываемого материала, правильного выбора инструментального материала и правильного выбора режимов резания, естественно предположить, что данные показатели не являются единичными показателями качества.

Производительность определяется по формуле [2]:

$$Pr = vst, \quad (1)$$

где v — скорость; s — подача; t — глубина резания.

Определение скорости резания при помощи стойкостных испытаний требует их проведения в широком диапазоне скоростей, так как данные зависимости носят сложный нелинейный характер. В связи с тем, что проведение таких испытаний необходимо для каждой пары инструменталь- ный — обрабатываемый материал, данные испытания очень продолжительны по времени и дорогостоящи. Поэтому, многие инструментальные фирмы проводят данные испытания только для явных представителей групп обрабатываемости, что приводит к существенным ошибкам при определении скорости для другого представителя данной группы обрабатываемости. В связи с этим, отладка технологического процесса ложится на плечи потребителя инструмента, что под силу только крупным предприятиям.

Для определения единичных показателей качества сборного инструмента проведен анализ работ по изучению процесса резания и сборного инструмента [3–7], в результате которого выявлено, что глубина резания устанавливается по технологическим требованиям в каждом конкретном случае, а также то, что, подача устанавливается в зависимости от требований к шероховатости обработанной поверхности при чистовой обработке и в зависимости от глубины резания и толщины пластины при черновом точении. Скорость резания, в свою очередь, существенно зависит от этих параметров и физико-механических характеристик, обрабатываемых и инструментальных материалов, а также от геометрии инструмента (рис. 2).

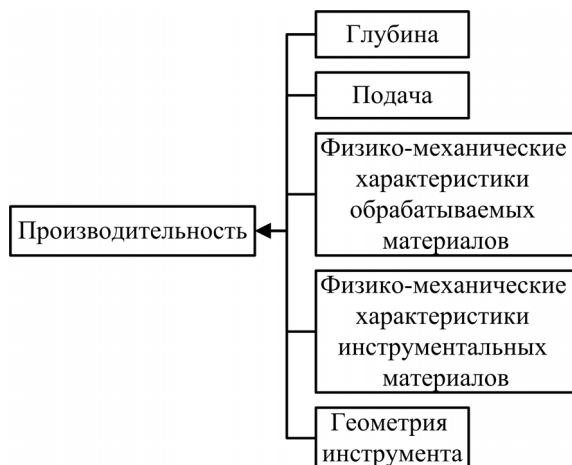


Рис. 2. Параметры, влияющие на производительность обработки материала

Анализ взаимосвязей явлений при резании металлов показал, что определяющим фактором является температура резания, так как, механические характеристики обрабатываемого и инструментального материала существенно изменяются

от температуры, а оптимальная температура резания для пары инструментальный — обрабатываемый материал остается постоянной вне зависимости от геометрии инструмента, глубины и подачи. Взаимосвязь температуры резания и основных показателей качества сборного инструмента хорошо описывается эмпирической формулой [8]:

$$\Theta = \frac{76,7 v^{0,58} s^{0,14} t^{0,10} \chi^{0,18}}{\alpha^{0,05} r^{0,01} \delta^{0,06}}. \quad (2)$$

Уровень современных требований к качеству предопределяет развитие формулы (2), а именно, учет ряда важных теплофизических и геометрических характеристик инструментального и обрабатываемого материала. Экспериментальные исследования [12] влияния данных факторов на температуру резания позволили уточнить (2), которая получила следующий вид:

$$\Theta = \frac{145 v^{0,58} s^{0,14} t^{0,10} \chi^{0,18} \varphi^{0,34}}{\lambda_o^{0,35} \lambda_n^{0,21} \alpha^{0,05} r^{0,01} \delta^{0,06}}, \quad (3)$$

где λ_o и λ_n — коэффициенты теплопроводности для обрабатываемого и инструментального материалов, соответственно.

Учитывая, что при определении качества сборного инструмента будут использоваться относительные показатели качества, постоянными величинами можно пренебречь. Выразив из формулы (3) скорость, получим

$$= \Theta^{1,724} \lambda_o^{0,6} \lambda_n^{0,362} \alpha^{0,086} r^{0,017} \delta^{0,086} \times \left(\frac{1}{s}\right)^{0,241} \left(\frac{1}{t}\right)^{0,172} \left(\frac{1}{\chi}\right)^{0,31} \left(\frac{1}{\varphi}\right)^{0,586}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (1), в котором коэффициенты весомости всех сомножителей одинаковы, получим

$$Pr = \Theta^{0,575} \lambda_o^{0,2} \lambda_n^{0,121} \alpha^{0,029} r^{0,006} \delta^{0,029} s^{0,253} t^{0,276} \times \left(\frac{1}{\chi}\right)^{0,103} \left(\frac{1}{\varphi}\right)^{0,195}. \quad (5)$$

В [8] установлено, что каждый обрабатываемый материал имеет свою температуру максимальной обрабатываемости, при которой наблюдаются минимальная шероховатость обработанной поверхности и минимальный износ инструмента. Данную температуру можно определять по изменению одной из физико-механических характеристик материала в зависимости от температуры. Обработку материала целесообразно производить при температуре резания, соответствующей температуре максимальной обрабатываемости материала, соответственно (5) примет вид:

$$Pr = \Theta_{\text{м.о.}}^{0,575} \lambda_o^{0,2} \lambda_n^{0,121} \alpha^{0,029} r^{0,006} \delta^{0,029} s^{0,253} t^{0,276} \times \left(\frac{1}{\chi}\right)^{0,103} \left(\frac{1}{\varphi}\right)^{0,195}, \quad (6)$$

где $\Theta_{\text{м.о.}}$ — температура максимальной обрабатываемости материала.

Учет свойств надежности

Надежность понимается нами как средство обеспечения проявления тех свойств, ради которых продукция и создавалась, то есть свойств функциональности. Данный показатель учитывается нами в виде совокупности коэффициентов, имеющих непосредственное отношение к надежности.

Показателями надежности металлорежущего инструмента являются стойкость (путь резания) и безотказность. Как доказано в работе [8], максимальный путь резания достигается при правильном выборе инструментального твердого сплава и режиме резания. Это обеспечивается при совпадении температуры максимальной обрабатываемости обрабатываемого материала и температуры максимальной работоспособности инструментального твердого сплава и соответствующим поддержанием данной температуры в зоне резания (назначением соответствующих режимов). Для того, чтобы учесть проблему правильного выбора инструментального твердого сплава, от которого существенно зависят показатели надежности — стойкость (путь резания) и безотказность, — предложено ввести коэффициент температурной совместимости $K_{т.с.}$ обрабатываемого материала и инструментального твердого сплава.

Также на показатели надежности существенно влияют геометрические характеристики и схемы базирования и крепления; их предлагается учесть с помощью коэффициента напряженности $K_{н.}$.

Учитывая вышесказанное, при умножении ур. (6) на коэффициенты надежности (коэффициенты напряженности и температурной совместимости), получим уравнение качества сборного инструмента с СМП:

$$\text{Качество} = K_{н.} K_{т.с.} I_{м.о.}^{0,575} \lambda_0^{0,2} \lambda_n^{0,121} \alpha^{0,029} r^{0,006} \delta^{0,029} s^{0,253} l^{0,276} \times \left(\frac{1}{\chi}\right)^{0,103} \left(\frac{1}{\varphi}\right)^{0,195}.$$

Разработанная модель может использоваться для решения следующих задач по оценке качества сборных токарных резцов:

- выбор продукции при ее приобретении;
- выбор оптимального варианта продукции для ее разработки и постановки на производство;
- определение оптимальных показателей качества;
- планирование разработки и освоения новых видов продукции;
- определение наиболее рациональных путей повышения и обеспечения качества.

Выводы

Разработан алгоритм оценки качества металлорежущего инструмента. Установлены потребительские требования, факторы условий применения, технические показатели. Показано, что фактором, связывающим основные характеристики, является температура резания. Разработана модель качества сборных токарных резцов, в которую для учета свойств надежности введены коэффициент напряженности и коэффициент температурной совместимости. Методика дает возможность выбора наиболее качественного инструмента, который при максимальной стойкости будет обеспечивать оптимальную производительность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П. Качество и рынок, или Как организация настраивается на обеспечение требований потребителей. — Поставщик и потребитель. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2000. — 128 с.
2. Зайцев Б.Г., Завгороднев П.И., Справочник молодого токаря. — М.: Высшая школа, 1976. — 368 с.
3. Андреев В.Н. Совершенствование режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 1993. — 240 с.
4. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. — М.: Машиностроение, 1993. — 336 с.
5. Ефимович И.А. Повышение эксплуатационной эффективности инструмента на основе исследования напряженно-дефор-

- мированного состояния и прочности его режущей части при различных видах стружкообразования: Дис. ... канд. техн. наук. — Томск, 1999. — 198 с.
6. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. — М.: Машиностроение, 1976. — 278 с.
7. Metal Machining theory and applications / T.H. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa, Y. Yamane. — London: Arnold, 2000. — 403 с.
8. Артамонов Е.В., Василега Д.С., Остапенко М.С., Шрайнер В.А. Работоспособность инструментов и физико-механические характеристики инструментальных твердых сплавов и обрабатываемых материалов / под общей ред. М.Х. Утешева. — Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2008. — 160 с.

Поступила 05.07.2010 г.