

УДК 621.951.45
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-87-93

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ СВЕРЛЕНИЕМ ОТВЕРСТИЙ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, А.А. Салидеков

Аннотация. Приведены результаты анализа показателей качества различных методов обработки отверстий осевыми инструментами. Показано, что сверлением могут быть получены отверстия, соответствующие нормальному развертыванию, позволяющие после сверления выполнять точное и тонкое развертывание. Разработаны и обоснованы условия обработки деталей из конструкционных углеродистых сталей стандартными быстрорежущими спиральными сверлами, которые позволяют получить показатели качества отверстий, соответствующие нормальному развертыванию. Доказана необходимость использования стандартных спиральных сверл класса точности А1 с двухплоскостной заточкой задних поверхностей с осевым биением режущих кромок не более 0,06 мм на скоростях резания меньших 6 м/мин.

Ключевые слова: сверло; отверстие; качество; шероховатость; квалитет.

ЖОГОРКУ САПАТТАГЫ ТЕШИКТЕРДИ БУРГУЛОО МЕНЕН КАЙРА ИШТЕТҮҮ ШАРТТАРЫН ИШТЕП ЧЫГУУ ЖАНА НЕГИЗДӨӨ

Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, А.А. Салидеков

Аннотация. Макалада тешиктёрди октук аспаптар менен иштетүүнүн ар кандай ыкмаларынын сапаттык көрсөткүчтөрүн талдоонун натыйжалары келтирилген. Бургулоо аркылуу бургулоодон кийин так жана ичке орнотууну аткарууга мүмкүндүк берген кадимки орнотууга дал келген тешиктёрди алууга болот. Конструкциялык көмүрөктүү болоттон жасалган тетиктерди стандарттуу ылдамдыктагы бурма бургулар менен иштетүү үчүн шарттар иштелип чыккан жана негизделди, бул нормалдуу орнотууга ылайык келген тешиктёрдин сапаттык көрсөткүчтөрүн алууга мүмкүндүк берет. 6 м/минутадан кем кесүү ылдамдыгында кесүү четтери 0,06 ммден ашпаган октук чыгуусу менен арткы беттерин эки тегиз курчутуу менен А1 тактык классындагы стандарттык бурма бургуларды колдонуунун зарылчылыгы далилденген.

Түйүндүү сөздөр: бургулоо; тешик; сапаты; жылмакай эместик; квалитет.

DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION OF THE CONDITIONS OF PROCESSING BY DRILLING HIGH QUALITY HOLES

N.A. Ragrin, A.A. Ainabekova, A.A. Salidekov

Abstract. The article presents the results of the analysis of the quality indicators of various methods of machining holes with axial tools, showing that drilling can produce holes corresponding to normal reaming, which allow precise and fine reaming after drilling. However, there is no information on the conditions for obtaining such holes by drilling. This determined the purpose of the research: to develop and substantiate the conditions for processing parts from structural carbon steels with standard high-speed twist drills that allow obtaining hole quality indicators corresponding to normal reaming. As a result of solving research problems, it was determined that it is necessary to use standard twist drills of accuracy class A1 with two-plane sharpening of the back surfaces with axial runout of the cutting edges of not more than 0.06 mm at cutting speeds of less than 6 m/min.

Keywords: drill; hole; quality; roughness; quality.

Анализ проблемы. Статистический анализ показателей качества отверстий технологической оснастки [1] определил необходимость обеспечения 7 качества допуска и шероховатости поверхности $Ra = 0,8$ мкм отверстий сравнительно небольшого диаметра (10–20 мм), требующих выполнения нескольких переходов осевыми инструментами [2]. В таблице 1 представлены регламентированные справочником показатели качества при обработке отверстий осевыми инструментами [2].

В таблице 1 приведены ориентировочные показатели качества для различных методов обработки осевыми инструментами, полученные систематизацией непосредственных наблюдений в производственных условиях [2]. Данные таблицы показывают, что сверлением могут быть получены отверстия, показатели качества которых соответствуют нормальному развертыванию, а именно $Ra = 0,8$ мкм, глубина дефектного поверхностного слоя 15 мкм, качество допуска 9, технологический допуск на размер 43 мкм при номинальных диаметрах отверстий св. 10 до 18 мм. Такие показатели качества позволяют исключить ряд технологических переходов и сразу после сверления выполнять точное и тонкое развертывание. Однако справочник [2] не содержит информации об условиях обработки сверлением деталей из конструкционных углеродистых сталей, позволяющих получить такие высокие показатели качества отверстий.

Все изложенное выше привело к необходимости разработать и обосновать условия обработки деталей из конструкционных углеродистых сталей стандартными быстрорежущими спиральными сверлами, что позволяет получить показатели качества отверстий, соответствующие нормальному развертыванию. Это позволяет значительно снизить трудоемкость обработки отверстий.

Разработка и обоснование методов повышения качества отверстий, обработанных быстрорежущими спиральными сверлами. Общеизвестным технологическим методом повышения показателей качества при обработке резанием деталей из углеродистых конструкционных сталей, является увеличение скорости резания. При этом шаг микронеровностей уменьшается. Температура резания, в основном зависящая от скорости резания, растет, увеличивается пластичность обрабатываемого материала и снижается его прочность, в результате чего высота микронеровностей также уменьшается. Снижение прочности и увеличение пластичности обрабатываемого материала приводит к уменьшению влияния наследственного фактора – степени воздействия погрешностей размера и формы обрабатываемой поверхности на обработанную поверхность, что способствует повышению точности размера обработанной поверхности. Однако общеизвестный технологический метод повышения показателей качества при обработке резанием ограничен сравнительно невысокой теплостойкостью быстрорежущих сталей (650 °С), из которых изготавливаются стандартные спиральные сверла [3], поэтому в полной мере этот метод может быть применим только для твердых сплавов, а также неметаллических инструментальных материалов.

Вместе с тем, увеличение скорости резания связано с увеличением частоты вращения шпинделя станка, что приводит к значительному увеличению разбивки просверленных отверстий, как показано на рисунке 1 [4].

Разбивкой Δ принято считать разность между диаметром просверленного отверстия и рабочим диаметром сверла, что фактически является качеством допуска обработанного отверстия. В приведенном примере (рисунок 1) разбивка отверстий происходит в результате увеличения колебаний рабочей части сверла при увеличении частоты вращения шпинделя станка по причине несимметричности конструктивных элементов и сердцевины сверл относительно продольной оси. Поэтому общепринятый технологический метод повышения показателей качества при обработке резанием деталей из углеродистых конструкционных сталей, заключающийся в повышении скорости резания, для стандартных спиральных сверл из быстрорежущей стали неприемлем.

При построении зависимости, представленной на рисунке 1, испытывались стандартные спиральные сверла из стали Р6М5 класса точности А1, имеющие двухплоскостную заточку задних поверхностей, у которых осевое биение режущих кромок не превышало значения 0,06 мм [4]. На рисунке

Таблица 1 – Показатели качества при обработке отверстий осевыми инструментами

Обработка	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий Св. 10 до 18 мм
Сверление, рассверливание	25–0,8	70–15	13–9	270–43
Зенкерование черновое	25–6,3	50–20	13–12	270–180
Зенкерование чистовое	25–0,4	25–15	13–8	270–27
Развертывание нормальное	12,5–0,8	25–15	11–10	110–70
Развертывание точное	6,3–0,4	15–5	9–7	43–18
Развертывание тонкое	3,2–0,1	10–5	6	11

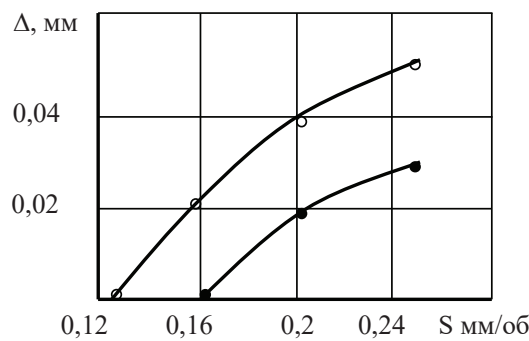


Рисунок 1 – Зависимость разбивки отверстия Δ от скорости резания V при сверлении спиральными сверлами из быстрорежущей стали диаметром 10,2 мм

видно, что на скорости резания 6 м/мин разбивка обработанных отверстий составила 0,04 мм, что соответствует 9 квалитету допуска этого диаметра (таблица 1).

Аппроксимация графика, представленного на рисунке 1, позволила получить математическое выражение зависимости разбивки отверстий от скорости резания в виде:

$$\Delta = 0,0063 \cdot V^{0,99}, \tag{1}$$

которое с достаточно высокой точностью отражает графическую зависимость. Рассчитанная по формуле (1) разбивка отверстия при скорости резания 4 м/мин равна 0,025 мм, что соответствует 8 квалитету допуска (таблица 1).

Вместе с тем, при протягивании протяжками из быстрорежущей стали деталей из углеродистых конструкционных сталей, справочник [5] рекомендует скорости резания 6–3 м/мин, обеспечивающие шероховатость обработанной поверхности Ra = 0,8 мкм и точность 8–9-го квалитета, что соответствует нормальному развертыванию (таблица 1). Скорости резания при протягивании значительно ниже скоростей резания, рекомендуемых справочником [5] при сверлении спиральными сверлами из быстрорежущих сталей деталей из углеродистых конструкционных сталей (для диаметра сверл 10 мм скорость резания, рассчитанная по рекомендации справочника [5], равна 26 м/мин).

Учитывая все отмеченное выше, были определены задачи исследований: разработать и обосновать условия обработки стандартными спиральными сверлами из быстрорежущей стали деталей из углеродистых конструкционных сталей, обеспечивающих показатели качества просверленных отверстий, соответствующие нормальному развертыванию.

Выбор и обоснование скорости резания для проведения исследований. Известно, что на скоростях резания, рекомендуемых при сверлении [5], на режущих лезвиях сверл наблюдается активное образование нароста, что значительно снижает качество обработанных отверстий. Нарост имеет максимальную высоту на скоростях резания 15–30 м/мин и полностью исчезает на скоростях резания больших 80 м/мин [6]. Диапазон скоростей резания максимальной высоты нароста соответствует рекомендуемым скоростям резания при сверлении [5]. Нарост не постоянен по времени и величине. Отделившиеся частицы нароста царапают обработанную поверхность и привариваются к ней, поэтому на скоростях резания активного образования нароста не может быть высокого качества обработанной поверхности. Из этого можно сделать вывод, что высокое качество обработанной поверхности указывает на отсутствие нароста. То есть высокое качество обработанной поверхности при протягивании указывает на отсутствие нароста при скоростях резания, меньших 6 м/мин.

В работе [6] приводятся результаты исследований образования нароста при токарной обработке конструкционных углеродистых сталей, на основании которых сделан вывод об отсутствии нароста при работе на низких скоростях резания. Однако результаты исследований характера образования нароста на режущих кромках быстрорежущих спиральных сверл в работе [6] отсутствуют. Это послужило основанием для проведения дополнительных исследований [7]. Получена зависимость высоты нароста от скорости резания (рисунок 2). На скоростях резания, равных и меньших 3,4 м/мин, нарост отсутствовал.

Экспериментально установлено, что при наиболее распространенных условиях резания сталей нарост имеет максимальную высоту при таком значении скорости резания, при котором температура резания равна 300 °С, и исчезает при значении скорости резания, при которой температура резания равна 600 °С [6]. С целью определения скорости резания, при которой нарост на уголке сверла имеет максимальную величину и отсутствует, проведена аппроксимация вершины и правой части кривой графика зависимости высоты нароста от скорости резания (рисунок 2). Методика аппроксимации вершины кривой графика представлена в работе [8]. Правая часть графика на рисунке 2 аппроксимировалась методом наименьших квадратов уравнением прямой. В результате аппроксимации получены зависимости:

$$h = 9,84 \cdot 10^{-6} V^{5,714} e^{-0,338V}, \quad (2)$$

$$h = 0,5532 - 0,0127V. \quad (3)$$

Погрешность расчета показана в таблице 3.

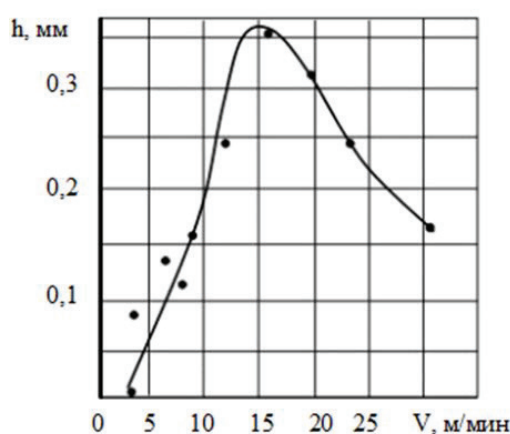


Рисунок 2 – Зависимость высоты нароста на уголках сверла от скорости резания

Таблица 2 – Погрешность расчетов по зависимостям (2) и (3)

Скорость резания, V, м/мин	12	16	20	23	31	
Высота нароста h, мм	0,25	0,35	0,31	0,25	0,16	
Погрешность расчетов Δ, % (2)	0,04		0,03	0,04		Δср. = 0,037
Погрешность расчетов Δ, % (3)		0	3,2	4	0,6	Δср. = 1,95

Данные таблицы 2 показывают, что средняя погрешность расчетов по зависимости (2) составила 0,037 %, что позволяет с высокой степенью точности определить скорость резания, при которой нарост на уголке сверла имеет максимальную величину из отношения показателей степеней зависимости (2) [8] $V_{hm} = 5,714/0,338 = 16,9$ м/мин.

Средняя погрешность расчетов по зависимости (3) имеет большую величину (таблица 3). Для сравнения проведена аппроксимация правой части кривой степенной и экспоненциальной зависимостей, имеющих вид:

$$h = 4,475V^{-0,92}, \tag{4}$$

$$h = 1,03e^{-0,06V}. \tag{5}$$

Средняя погрешность расчетов составила: для степенной зависимости (4) Δср. = 7 %, для экспоненциальной зависимости (5) – Δср. = 6,3 %. Сравнительный анализ показывает, что линейная зависимость дает значительно меньшую погрешность расчетов Δср. = 1,95 % (таблица 3). Поэтому для определения максимальной скорости резания, при которой нарост исчезает [5], следует использовать зависимость (3) следующим образом: $0 = 0,5532 - 0,0127V_{max}$. Максимальная скорость резания $V_{max} = 43,56$ м/мин. Проведенный анализ позволил определить скорость резания $V_{hm} = 16,9$ м/мин, при которой температура резания при сверлении конструкционных сталей равна 300 °С, и скорость резания $V_{max} = 43,56$ м/мин, при которой температура резания при сверлении конструкционных сталей равна 600 °С. В результате несложных математических действий получена зависимость:

$$\theta = 37,824V^{0,7328}. \tag{6}$$

Погрешность расчетов на скорости $V_{hm} = 16,9$ м/мин составила 0,1 %, а на скорости $V_{max} = 43,56$ м/мин – 0,17 %. Это позволяет использовать зависимость (6) для определения температуры резания на минимальной скорости резания $V_{min} = 3,4$ м/мин, на которой нарост отсутствовал. Рассчитанная по зависимости (6) температура резания на скорости резания $V_{min} = 3,4$ м/мин равна 92,7 °С.

Как было отмечено ранее, общепризнанным технологическим методом повышения показателей качества при обработке резанием деталей из углеродистых конструкционных сталей, является увеличение скорости резания. Температура резания, в основном зависящая от скорости резания, при этом растет, за счет чего увеличивается пластичность обрабатываемого материала, и снижается его прочность, в результате высота микронеровностей уменьшается. Обоснована невозможность применения общепризнанного технологического метода при обработке сталей стандартными спиральными сверлами из быстрорежущих сталей. Наряду с тем, в работе [9] приведена эмпирическая зависимость пластичности и прочности стали от температуры, показывающая увеличение пластичности и снижение прочности при снижении температуры в пределах 100 °С (рисунок 3).

В работе [10] приведены результаты экспериментальных исследований (рисунок 4), показывающие, что на скоростях резания меньших 6 м/мин (0,1 м/с, рисунок 4, а), температура резания близка к 200 °С (500К, рисунок 4, б) и уменьшается с уменьшением скорости резания, т. е. при работе на скоростях резания, меньших 6 м/мин, температура резания соответствует области снижения прочности и повышения пластичности углеродистой стали (рисунки 3 и 4).

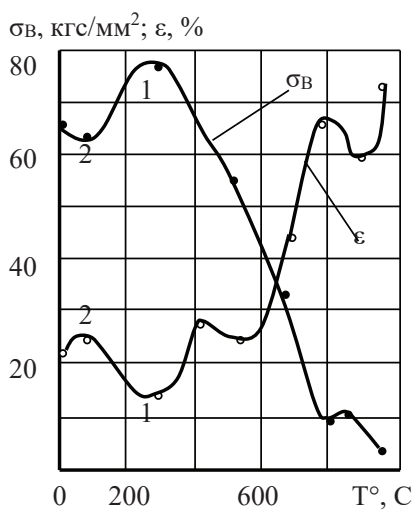


Рисунок 3 – Зависимость прочности и пластичности углеродистой конструкционной стали от температуры:
 ϵ – степень деформации, характеризующая пластичность материала;
 σ_b – предел прочности

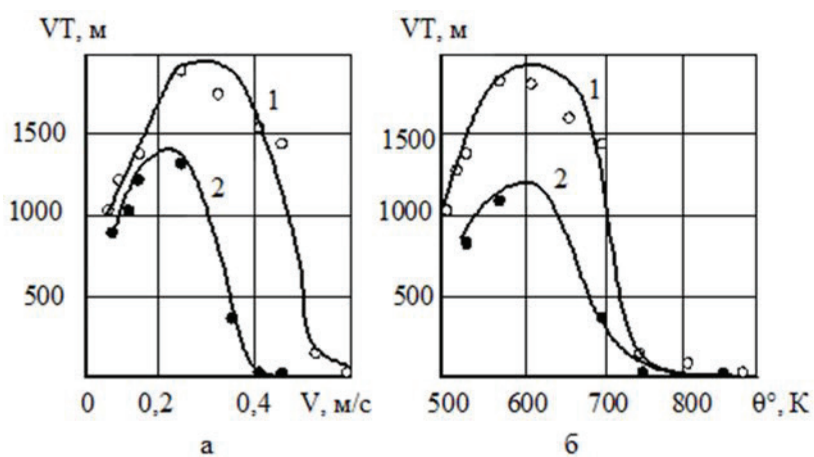


Рисунок 4 – Зависимости пути резания от скорости резания (а) и температуры резания (б) при точении конструкционной углеродистой стали резцами из быстрорежущей стали: 1 – толщина среза $\alpha = 0,1$ мм; 2 – $\alpha = 0,3$ мм

Результаты экспериментальных исследований показывают аналогичное воздействие низких и высоких скоростей резания на пластичность и жесткость конструкционных сталей. Это является основанием для проведения исследований качества отверстий, просверленных на скоростях резания, меньших 6 м/мин.

Выводы. Для обеспечения показателей качества просверленных отверстий, соответствующих нормальному развертыванию, необходимо:

- использовать стандартные спиральные сверла класса точности А1, имеющие двухплоскостную заточку задних поверхностей и осевое биение режущих кромок, не превышающее 0,06 мм;
- использовать скорости резания при сверлении конструкционных углеродистых сталей меньше 6 м/мин;
- провести экспериментальные исследования с целью разработки эмпирической модели для повышения качества обработки отверстий в деталях из углеродистых конструкционных сталей стандартными быстрорежущими спиральными сверлами.

Поступила: 26.09.22; рецензирована: 10.10.22; принята: 13.10.22.

Литература

1. Рагрин Н.А. Научные основы повышения качества поверхности, обработанной быстрорежущими спиральными сверлами / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева // *Технология машиностроения*. М., 2017. № 5. С. 13–16.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред.: А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.
3. Рагрин Н.А. Обработка материалов и инструменты: учебник / Н.А. Рагрин. Бишкек: Текник, 2012. 156 с.
4. Рагрин Н.А. Методы повышения качества отверстий, обработанных спиральными сверлами / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, И.А. Родин // *Вестник КРСУ*. 2018. Т. 18. № 12. С. 65–68.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред.: А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. 944 с.
6. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
7. Рагрин Н.А. Влияние скорости резания на наличие и высоту нароста при сверлении быстрорежущими спиральными сверлами / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, С.В. Нарыжный // *Известия КГТУ им. И. Раззакова*. 2013. № 29. С. 168–160.
8. Рагрин Н.А. Математическая модель стойкостной зависимости при сверлении / Н.А. Рагрин // *Технология машиностроения*. 2014. № 1. С. 49–54.
9. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
10. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.