

ISSN 1694-8335 (print)
ISSN 1694-8343 (online)



Известия

КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени И.Раззакова

Выпуск 3 (67) 2023

И.Раззаков атындагы
КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК
УНИВЕРСИТЕТИНИН

Жарчысы

KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY
WWW.KSTU.KG

ISSN 1694-8335 (print)
ISSN 1694-8343 (online)

ИЗВЕСТИЯ

КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. И. РАЗЗАКОВА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ
2023

№3 (67)

Теоретический и прикладной научно-технический
журнал

Учредитель: Кыргызский государственный
технический университет им. И.Раззакова

Адрес редакции: 720044, Кыргызская Республика,
город Бишкек, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66,
каб.272.

Тел.: +996(312) 54-51-40

Сайт: [https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-](https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova)
[kgtu-im-i-razzakova](https://kstu.kg/bokovoe-menju/zhurnal-izvestija-kgtu-im-i-razzakova)

email: journalkstu@gmail.com

[journal@kstu.kg](mailto:journalkstu@gmail.com)

Журнал зарегистрирован в Министерстве юстиции
Кыргызской Республики
Свидетельство № 925 от 16 января 2004 года.

ISSN 1694-8335

Журнал зарегистрирован в Российском индексе
научного цитирования

Материалы журнала проходит независимое
рецензирование

Подписан в печать 01.11.2023

Тираж 50 экз.

Отпечатано в ИД «Калем»

Главный редактор: *М.К. Чыныбаев*, кандидат
физико-математических наук, доцент, ректор КГТУ
им. И.Раззакова

Тел.: Тел.: (312)54-51-25

Электронная почта: rector@kstu.kg

Заместитель главного редактора: *Б.Т. Торобеков*,
доктор технических наук, профессор,
проректор по научной работе

Тел.: Тел.: (312)54-51-40

Электронная почта: torobekov@kstu.kg

Ответственный секретарь: *А.Б.Аманкулова*
тел.: 0550-660-442
0505-660-442

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. Алымкулов – д. т. н., профессор
М.З. Алмаматов – д. т. н., профессор
М.К. Асаналиев – д. педаг. н. профессор
А.А. Акунов – д. истор. н., профессор
М.Б. Баткибекова – д. хим. н., профессор
А.Б. Бакасова – д.т. н., профессор
Ж.И. Батырканов – д. т. н., профессор
И.В. Бочкарев – д. т. н., профессор
У.Н. Бримкулов – д. т. н., профессор, чл.-корр. НАН
КР
Ж.Т.Галбаев – д.т.н., профессор
М. Дж. Джаманбаев – д. физ.-мат. н. профессор
М.С. Джуматаев – д. т. н., профессор, академик
НАН КР
У.Р. Давлятов – д. т. н., профессор, член-корр.
НАН КР
Т.Б. Дуйшеналиев – д. физ.-мат. н., профессор
Т.Ш. Джунушалиева – д. хим. н., профессор
К.М. Иванов – д. т. н., профессор (Россия)
А.С. Иманкулова – д. т. н., профессор
Г.Дж. Кабаева – д. физ.-мат. н., профессор
К. Ч. Кожозулов – д. т. н., профессор, чл.-корр.
НАН КР
Т.Ы. Маткеримов – д. т. н., профессор
М.М. Мусульманова – д. т. н., профессор
А.Дж. Обозов – д.т.н., профессор, член-корр. НАН
КР
К.О. Осмонбетов – д. геолого-минерал. н.,
профессор
Н.Д. Розаев – д. т. н., профессор (Россия)
А.Б. Салиев – д. физ.-мат. н., профессор
Р.М. Султаналиева – д. физ.-мат. н., профессор,
член-корр. НАН КР
А.Т. Татыбеков – д. т. н., профессор
Ж.Ж. Турдумбаев – д. т. н., профессор
А.С. Уметалиев – д.э.н., профессор

© Кыргызский государственный технический
университет им. И. Раззакова, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

Данилина Н.В. Пространственно-территориальные аспекты реконструкции городских улиц	1237
Ельчищева Т.Ф., Полохов М.С., Кольцова П.А. Применение нейросетей в архитектурном проектировании и дизайне среды	1243
Кусаннов А.М. Практический опыт применения технологии фотограмметрии в современном архитектурном проектировании	1250
Маанаева Н.М. Поиск образа малых архитектурных форм с этнокультурным уклоном	1257
Мищенко Е.С., Ельчищева Т.Ф., Маликова Д.А. Повышение качества подготовки архитекторов путем внедрения федеральной образовательной программы (на примере стратегии развития проекта «умный город» в Тамбовской области)	1264
Омурканова А.К., Бапышов Д.Н. Состояние и условия ведения градостроительного мониторинга планировки и застройки г. Бишкек	1274
Омурканова А.К., Бапышов Д.Н. Теоретические аспекты градостроительного мониторинга	1282
Рысбекова Э.С., Казыбаева А.А., Назарова А.Н. Исследование архитектурно-строительных материалов, применяемых на юге Кыргызстана	1289
Садикова С.Н., Уралов А.С. Предложения по восстановлению и сохранению историчности Самарканда	1295
Сатенов А.Э. Анализ квартальной застройки города Бишкек и современные тенденции урбанизации	1303
Смирнов Ю.Н., Алишов А.А., Раимжанова Д.С., Тажиудинов И.С. Сохранение и развитие ландшафта горы «Сулайман-тоо» в городе Ош как объект исследования историко-культурного наследия на великом шелковом пути	1313
Ташкулов У.Б. Проблемы исследования кочевой архитектуры	1320

ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ

Чымыров А.У., Исмаилов Н.Ы., Тыныбекова А.Т., Бектуров А.К. Выбор параметров аэрофотосъемки с применением беспилотных летательных аппаратов	1328
--	------

ГОРНОЕ ДЕЛО

Казакбаева Г.О., Тажибаев Д.К., Жумабаев Б., Клягин Н.И. Влияние трещин на распределения полей остаточных напряжений вокруг очистной камеры	1335
Назаралиев Б.А., Ермошкин Н.Н., Шамшиев О.Ш., Курманалиев К.З. Концентрационные совокупности содержания золота и генетическая классификация руд месторождения Джамгыр	1343
Назаралиев Б.А., Зарлыков А.К., Шамшиев О.Ш., Курманалиев К.З. Характеристики структуры, неоднородности и прерывистости распределения золота месторождения Джамгыр	1354
Пак Н.Т., Альпиев М.Е., Ивлева Е.А., Бережная Л.Л. Минералого-технологические особенности золото-медных серпентинитовых руд месторождения Бозымчак	1366
Тажибаев К.Т., Карабаева Б.К., Тажибаев Д.К. Техничко-экономические показатели циклично-поточной технологии в сравнении с цикличной технологией для перемещения вскрышных горных пород месторождения Джеруй	1375

Ногаева К.А., Кожонов А.К., Мырзалиев Б.М., Турарбек к. Айжан.	
Целесообразность проведения механоактивации флотационного концентрата.	1382
Усубалиев Ж., Эликбаев К.Т. Вопросы к современным технологиям добычи и обработки камня.....	1388
Кожогулов К.Ч., Такеева А.Р., Усенов К.Ж., Алибаев А.П. Способ отработки прибортовых запасов с закладкой при комбинированной разработке месторождений	1397
Кожогулов К.Ч., Такеева А.Р., Усенов К.Ж., Алибаев А.П. Технологии эффективной разработки подкарьерных и прибортовых запасов при комбинированной отработке сложных рудных тел.....	1402

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Абышев О.А., Абышев А.М., Заколдаев Д.А., Омуралиев У.К. Оценка и анализ уровня цифровой зрелости производственных предприятий Кыргызской Республики	1412
Andashova R.M. The translation peculiarities of discourse texts of information technology ...	1424
Качаганова Г.Д., Карабалаева Г.Т. Роль графических редакторов в формировании творческих навыков студентов-дизайнеров.....	1431
Фролова Т.А., Лычагина В.О., Шаталова И.А., Ширкина Е.С. Реализация автоматизированного управления биотехнической системой	1436

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Байжуманова Н.С. Теоретические подходы к самоорганизации личности студентов в образовательном процессе ВУЗа	1444
Бугубаева В.Т. Гуманитарное содержание современной физики.....	1450
Көкөлөев Г. У., Үркүнбай кызы К. Физикалык чондуктарды окутуунун заманбап ыкмалары	1457
Дуйшеналиев Т.Б., Силаев М.А., Гуличева Е.Г., Осипова М.С., Сысоева Е.А. Развитие инновационного подхода к образованию через создание цифровой платформы курсов открытого образования на русском языке.....	1461

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА И МЕХАНИКА

Kutuev M.D., Shamshiev N.U., Jalalov Sh.N. Solution of non-standard problems of building mechanics	1469
Рагрин Н.А., Дыйканбаева У.М. Разработка физических закономерностей формирования дефектного поверхностного слоя просверленных отверстий на основе физической модели.....	1481

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бектурова А. К., Мирланбекова Э.М. Новые формы костюма	1494
Бектурова А. К., Талантбекова Н.Т. Применение компьютерной графики в современном костюме	1499
Ибрайшина Г. К., Шарипханова Ж. А. Цифровые технологии в творчестве Fashion-дизайнеров	1504
Омуралиева А.И., Омуркулова Д.К. Менеджмент качества как средство повышения конкурентоспособности предприятий легкой промышленности	1516

Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева

И. Раззаков атындагы КМТУ, Бишкек, Кыргыз Республикасы
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

N.A. Ragrin, U.M. Dyikanbayeva,

Kyrgyz State Technical University n.a. I.Razzakov
Bishkek, Kyrgyz Republic
n_ragrin@mail.ru, urpia@kstu.kg

КӨЗӨЛГӨН КӨЗӨНӨКТӨРДҮН БЕТИНДЕГИ БЕТТИК КЕМТИКТЕРДИН ПАЙДА БОЛУШУН ФИЗИКАЛЫК МОДЕЛЬДИН НЕГИЗИНДЕ ФИЗИКАЛЫК МЫЙЗАМ ЧЕНЕМДҮҮЛҮГҮН ИШТЕП ЧЫГУУ

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕФЕКТНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРОСВЕРЛЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

DEVELOPMENT OF PHYSICAL REGULARITIES OF THE FORMATION OF A DEFECTIVE SURFACE LAYER OF DRILLED HOLES ON THE BASIS OF A PHYSICAL MODEL

Технологиялык жабдуулардын тетиктери көп сандагы жогорку тактыктагы көзөнөктөргө жана салыштырмалуу кичине диаметрге ээ. Мындай көзөнөктөрдү иштетүү октук аспаптар менен жети өтүүнү камтыйт, алардын биринчиси ар дайым сайбоор көзөөч болуп саналат. Сайбоор көзөөчтүн конструкциясы жогорку кесүүчү күчтөрдү аныктайт, алар ленталардын жана бурчтардын көмөкчү бычактарында арткы бурчтар жок болгон учурда бузулган беттик катмардын кемтиктеринин тереңдигин жана сайбоор көзөөчтөр менен көзөлгөн көзөнөктөрдүн бетинин катуулугун жогорулатат. Көзөөдөн кийинки октук аспаптар тешиктердин бетинин сапатын жана тактыгын жогорулатат, ал эми беттик катмардын кемтиктеринин тереңдиги жана сайбоор көзөөчтөр менен көзөлгөн көзөнөктөрдүн бетинин катуулугу көзөлгөндөн кийинки октук аспаптардын туруктуулугуна терс таасирин тийгизет. Ошондуктан, сайбоор көзөөчтөр менен көзөлгөн көзөнөктөрдүн беттик катмарынын кемтиктеринин тереңдигин жана беттик катуулугун азайтуу маселеси актуалдуу болуп саналат.

Бул макалада пайда болгон радиалдык кесүү күчүн эсептөө үчүн көз карандылыкка ээ болгон, көзөлгөн көзөнөктөрдүн бетиндеги беттик кемтиктердин пайда болушун физикалык модельдин негизинде физикалык мыйзам ченемдүүлүгүн иштелип чыккандыгы каралат.

Түйүндүү сөздөр: көзөөч, көзөнөк, катуулук, кесүү, беттик кемтиктер, кесүү күчү, сайбоор көзөөч.

Детали технологической оснастки имеют большое количество отверстий высокой точности и относительно небольшого диаметра. Обработка таких отверстий содержит семь переходов осевыми инструментами, первыми из которых всегда является спиральные сверла. Конструкция спиральных сверл определяет большие силы резания, которые при отсутствии задних углов на вспомогательных лезвиях ленточек и уголках увеличивают глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий обработанных спиральными сверлами.

Следующие за сверлами осевые инструменты повышают качество поверхности и точность отверстий, при этом глубина дефектного поверхностного слоя и твердость

поверхности отверстий обработанных спиральными сверлами, отрицательно влияют на стойкость следующих за сверлами осевых инструментов.

Поэтому проблема снижения глубины дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами, является актуальной.

В работе получена зависимость для расчета равнодействующей радиальной силы резания при сверлении, разработаны физические закономерности формирования дефектного поверхностного слоя отверстий просверленных спиральными сверлами, разработана физическая модель отражающая характер влияния условий обработки сверлением на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий просверленных спиральными сверлами.

Ключевые слова: *отверстие, спиральное сверло, сила резания, глубина дефектного поверхностного слоя, твердость.*

Tooling parts have a large number of high-precision holes and relatively small diameters. The machining of such holes contains seven transitions with axial tools, the first of which is always twist drills. The design of twist drills determines the high cutting forces, which, in the absence of back corners on the auxiliary blades of ribbons and corners, increase the depth of the defective surface layer and the hardness of the surface of the holes processed by twist drills. Axial tools following the drills increase the surface quality and accuracy of the holes, while the depth of the defective surface layer and the surface hardness of holes machined with twist drills negatively affect the durability of the axial tools following the drills. Therefore, the problem of reducing the depth of the defective surface layer and the surface hardness of holes processed with twist drills is relevant. The paper obtained a dependence for calculating the resultant radial cutting force during drilling, developed physical patterns for the formation of a defective surface layer of holes drilled with twist drills, developed a physical model reflecting the nature of the influence of drilling conditions on the depth of the defective surface layer and the surface hardness of holes drilled with twist drills.

Key words: *hole, twist drill, cutting force, depth of defective surface layer, hardness.*

Введение. Большое количество деталей технологической оснастки имеют отверстия высокой точности и относительно малого диаметра, от которых зависит качество и долговечность технологической оснастки, тем самым качество и себестоимость изготавливаемых изделий. Технологический процесс получения точных отверстий относительно малого диаметра содержит семь переходов обработки осевыми инструментами, первым из которых всегда является сверление. Особенности конструкции спиральных сверл: значительные передние углы поперечных лезвий, глубина резания, равная половине диаметра сверла, и большие длины главных режущих кромок, определяют значительные силы резания. Силы резания при сверлении увеличивают глубину дефектного поверхностного слоя и повышают твердость поверхности отверстий, подлежащую дальнейшей обработке осевыми инструментами. Следующие за сверлами осевые инструменты повышают качество поверхности и точность отверстий, в зависимости от качества обработки сверлением. Глубина дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий снижают качество отверстий обработанных спиральными сверлами и являются основными факторами, отрицательно влияющими на качество обработки и стойкость следующих за сверлением осевых инструментов, что в свою очередь отрицательно влияет на качество и себестоимость изготавливаемых изделий. Поэтому решение проблемы снижения глубины дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности отверстий, обработанных спиральными сверлами, с целью повышения качества и снижения себестоимости деталей машиностроения является актуальной задачей.

Анализ проблемы. Глубина резания при сверлении определяется половиной диаметра сверла. Поэтому процесс резания при сверлении происходит в результате действия

значительных сил резания на лезвиях спиральных сверл (рис.1), приводящих к изменению физико-механических свойств обработанной поверхности и поверхностного слоя.

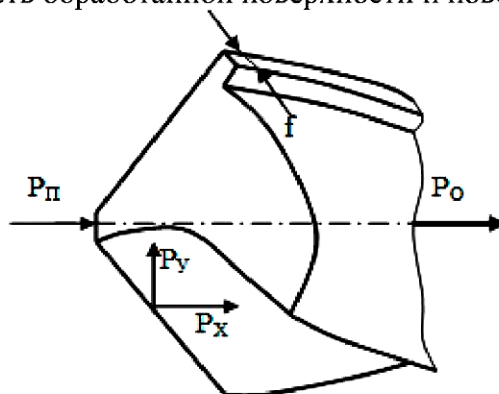


Рис. 1. Составляющие силы резания спирального сверла:

P_O – осевая сила, $P_П$ – осевая сила поперечного лезвия,
 P_X – осевая сила главного лезвия, P_Y – радиальная сила главного лезвия

Глубина дефектного поверхностного слоя и его физико-механические свойства, выраженные в виде дефектов кристаллической структуры и плотности упаковки атомов, зависят от радиальной силы P_Y . Существующие справочники по обработке деталей резанием не содержат информации по учету силы P_Y при сверлении, формулы для ее расчета отсутствуют.

Автор работы [1] на основании экспериментальных исследований приводит соотношение между составляющими сил резания при точении резцами с углом $\phi=45^\circ$, углом $\lambda=0^\circ$ и углом $\gamma=15^\circ$ при отношении глубины резания к подаче, превышающем 10 раз: $P_Z:P_Y:P_X=1:0,5:0,3$, что позволяет получить соотношение сил резания $P_Y:P_X=1,65$. Известно, что отношение $P_Y:P_X$ при неизменной глубине резания зависит от угла в плане ϕ . В табл. 1 приведена относительная величина осевой силы P_O при различных углах ϕ при сверлении стали средней твердости [2].

Таблица 1

Значение угла ϕ		
45°	60°	75°
Относительная величина P_O		
0,97	1	1,04

В табл. 1 видно, что при увеличении угла ϕ от 45° до 60° относительная величина P_O увеличивается, что соответственно приведет к уменьшению отношения $P_Y:P_X$ следующим образом $1,65 \times 0,97 = 1,6$.

При обработке сверлением формула для расчета осевой силы имеет вид (1) [3]

$$P_O = 10C_P D^q S^y K_P, \text{ Н.} \quad (1)$$

Значение коэффициента C_P и K_P и показателей степеней формулы (1) приведены в табл. 2 [3].

Таблица 2

C_P	q	y	K_P
68	1,0	0,7	0,75

Для сверл диаметром 11 мм осевая сила, рассчитанная по формуле (1) при рекомендуемой подаче $S = 0,25$ мм/об [3], равна $P_O = 2126$ Н (212,6 кгс). Осевая сила при сверлении складывается из трех составляющих сил резания $P_O = P_{\Pi} + 2P_X$ (рис.1). Доля осевой силы поперечного лезвия P_{Π} в осевой силе P_O составляет 60% [4]. Тогда суммарная осевая сила главных лезвий составит $2P_X = 850$ Н (85 кгс). С учетом соотношения $P_Y:P_X = 1,6$ радиальная сила одного главного лезвия будет равна $P_Y = 680$ Н (68 кгс).

В результате вышеприведенного анализа определен коэффициент $C_{PY} = 21,75$, при использовании которого и зависимости (1) получена зависимость (2) для расчета радиальной силы на главных лезвиях при сверлении, имеющая вид

$$P_Y = C_{PY} D^4 S^2 K_P, \text{ кгс.} \quad (2)$$

Силы P_Y действующие на обоих главных лезвиях сверла и направленные навстречу друг другу, теоретически должны уравниваться. Однако вследствие погрешности заточки сверл (неодинаковой величины углов ϕ , длин главных режущих кромок, смещения поперечной кромки) силы P_Y не равны, поэтому появляется равнодействующая радиальная сила ΔP_Y , в направлении действия большей силы P_Y [1].

Каждый зуб спирального сверла имеет три режущих кромки, участвующие в формировании отверстия в сплошном материале: поперечная кромка, главная режущая кромка и вспомогательная кромка ленточки на участке равном половине подачи на оборот сверла. Помимо этого имеется еще один конструктивный элемент – уголок, являющийся линией пересечения главного и вспомогательного режущих лезвий. Непосредственное воздействие на обработанную поверхность оказывают вспомогательные кромки ленточек и уголки, которые находятся в сплошном контакте с обработанной поверхностью из-за отсутствия задних углов на ширине ленточки f (рис.1). Процесс резания при отсутствии задних углов невозможен, вспомогательные кромки ленточек и уголки не режут, а деформируют (сминают) обработанную поверхность, оказывая воздействие на нее силой ΔP_Y . Поэтому равнодействующая радиальная сила ΔP_Y непосредственно участвует в повышении глубины дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности просверленных отверстий.

На основании анализа проблемы и в соответствии с целью исследований определены задачи исследований:

1. Разработать зависимость для расчета равнодействующей радиальной силы.
2. Разработать физические закономерности формирования дефектного поверхностного слоя отверстий и твердости поверхности отверстий, просверленных спиральными сверлами.
3. Разработать физическую модель отражающая характер влияния условий обработки сверлением на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий просверленных спиральными сверлами.

Результаты исследований

Анализ проблемы определил, что основной причиной возникновения равнодействующей радиальной силы ΔP_Y являются погрешности заточки спиральных сверл. Основные причины возникновения погрешностей заточки происходят в результате неравенства углов ϕ и смещения поперечной кромки, как показано на рисунке 2 [5]. Неравенство углов ϕ также приводит к неравенству длин главных режущих кромок.

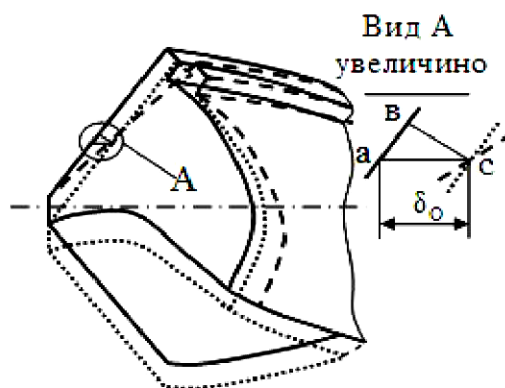


Рис. 2. Погрешности заточки сверл в результате смещения поперечной кромки; неравенства углов φ - - - -

Стандарт [6] регламентирует допуск биения проверяемый посередине режущих кромок сверла, относительно оси рабочей части сверла в направлении, перпендикулярном режущей кромке (рис.2, вид А, сторона вс треугольника авс). Однако основное влияние на осевую силу оказывает осевое биение режущих кромок, от которого непосредственно зависит неравенство величины подачи на зубьях сверла. Регламентированные стандартом [6] допуски биения сверл диаметром 11 мм и допуски осевого биения сверл этого диаметра (рис.2, вид А, сторона $ac = \delta_0$ треугольника авс) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Допуск биения сверл классов точности		
A1	B1	B
0,11	0,2	0,3
Допуск осевого биения δ_0 сверл классов точности		
A1	B1	B
0,14	0,23	0,35

В табл. 3 видно, что допуск осевого биения сверл класса точности B1 практически равен рекомендуемой подаче на оборот сверла [3], а допуск осевого биения сверл класса точности B значительно превышает величину рекомендуемой подачи. В этом случае в формировании обработанной поверхности будет участвовать только один зуб сверла с равнодействующей радиальной силой $\Delta P_y = 68$ кгс.

С использованием зависимости (2) и результатов анализа проблемы, разработана зависимость (3) позволяющая рассчитать равнодействующую радиальную силу

$$\Delta P_y = \frac{\delta_0}{S} P_y = C_{py} \delta_0 D S^{-0,3} K_p, \text{кгс.} \quad (3)$$

В том случае, если осевое биение режущих кромок превышает величину подачи равнодействующая сила $\Delta P_y = P_y$.

В работе [7] приведены результаты испытаний сверл диаметром 11 мм класса точности B с осевым биением 0,3 мм (табл.4) и класса точности A1 с осевым биением 0,06 мм с двухплоскостной заточкой задних поверхностей (табл.5).

Таблица 4 - Глубина дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных сверлами с осевым биением 0,3 мм

S , мм/об V , м/мин	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
2,18	δ , мкм					
					66,7	49,6
2,76				58,3	56,6	55,6
3,45			51,6	56,7	53,3	50,0
4,32		53,3	53,3	63,4	63,3	46,6
5,53	50,0	43,4	53,3	50,0	58,4	53,3

Таблица 5 - Глубина дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных сверлами с осевым биением 0,06 мм

S , мм/об V , м/мин	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
2,18	δ , мкм					
					25	25
2,76				22,30	23,0	22,30
3,45			16,00	21,30	21,00	22,60
4,32		15,30	18,60	19,00	16,66	21,00
5,53	13,33	15,00	18,00	18,66	18,93	19,00

Среднее значение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий просверленных сверлами класса точности В (табл.4) составляет 54,3 мкм, тогда как среднее значение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий просверленных сверлами класса точности А1 (табл.5) равно 17,1 мкм.

У сверл класса точности А1 при максимальной подаче, равной 0,25 мм/об рассчитанная по формуле (3) равнодействующая сила $\Delta P_y = 16,32$ кгс т.е. в 4,2 раза меньше, чем у сверл класса точности В. При этом среднее значение глубины дефектного слоя в таблице 5 в 3,2 раза меньше, чем в таблице 4. (17,1 мкм и 54,3 мкм соответственно). Это означает, что уменьшение глубины дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных сверлами класса точности А1 по сравнению с отверстиями просверленными сверлами класса точности В не прямо пропорционально уменьшению равнодействующей силы. Равнодействующая сила помимо осевого биения режущих кромок зависит от подачи (3), поэтому основной причиной отсутствия прямой пропорции между уменьшением равнодействующей силы и уменьшением средней глубины дефектного поверхностного слоя может быть наличие функциональной зависимости между глубиной дефектного поверхностного слоя и подачей у сверл класса точности А1 (табл.5) при отсутствии такой зависимости у сверл класса точности В (табл.4). Это подтверждается результатом корреляционного анализа взаимосвязи между подачей и глубиной дефектного поверхностного слоя, представленного в табл. 6

Таблица 6 - Коэффициент корреляции Пирсона r между подачей и глубиной дефектного поверхностного слоя

V, м/мин	Сверла класса точности В		Сверла класса точности А1	
	r		r	
4,32	-0,168	не значим	0,890	значим
5,53	0,616	не значим	0,876	значим

Значимый коэффициент корреляции предполагает наличие прямой функциональной зависимости глубины дефектного поверхностного слоя от подачи отверстий, просверленных сверлами класса точности А1. Характер этой зависимости представлен графиками на рисунке 3 [7].

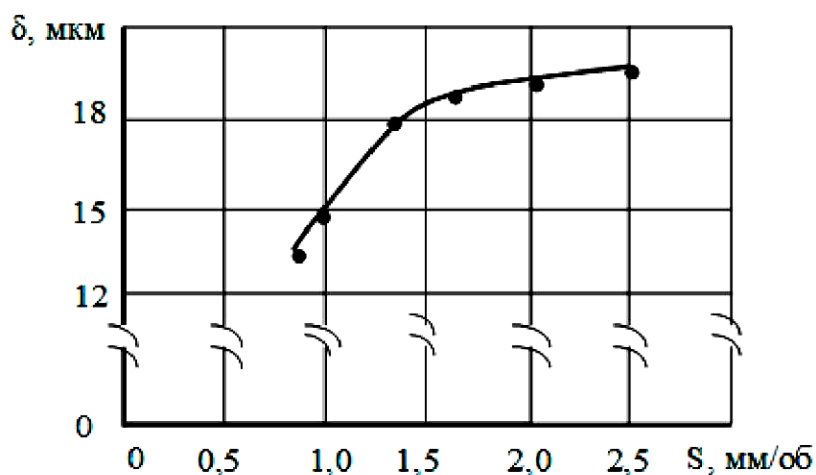


Рис. 3. Зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от подачи сверл класса точности А1, скорость резания $V = 5,53$ м/мин

На рис. 3 показано, что глубина дефектного поверхностного слоя отверстий, просверленных сверлами класса точности А1 имеет прямую зависимость от подачи, что оказывает влияние на среднее значение глубины дефектного поверхностного слоя. При этом на рисунке 3 видно, что характер зависимости меняется с увеличением подачи, угол наклона кривой графика к оси абсцисс уменьшается.

В табл. 7 представлены рассчитанные по зависимостям (2) и (3) радиальные силы и равнодействующие радиальные силы при сверлении сверлами класса точности А1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм.

Таблица 7

S, мм/об	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
P_y , кгс	30,1	35,8	43	49,8	58	68
ΔP_y , кгс	23,1	21,5	19,8	18,6	17,4	16,32

На рис. 4 приведены графики зависимостей, представленных в табл. 7.

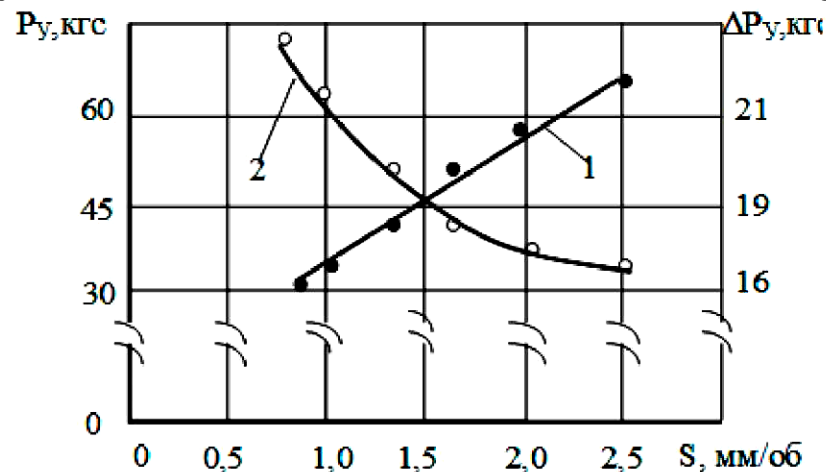


Рис. 4. Зависимость радиальной силы - 1 и равнодействующей радиальной силы - 2 от подачи, сверла класса точности A1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм

На рис. 4 видно, что осевая сила равномерно возрастает с увеличением подачи, тогда как интенсивность снижения равнодействующей радиальной силы уменьшается с увеличением подачи. Этим можно объяснить снижение интенсивности увеличения глубины дефектного поверхностного слоя при увеличении подачи (рис.3).

Скорость резания не влияет на силы резания при сверлении [1, 2, 3, 4]. Однако в работе [8] приведена эмпирическая зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от скорости резания при сверлении сверлами класса точности A1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм, представленная на рисунке 5.

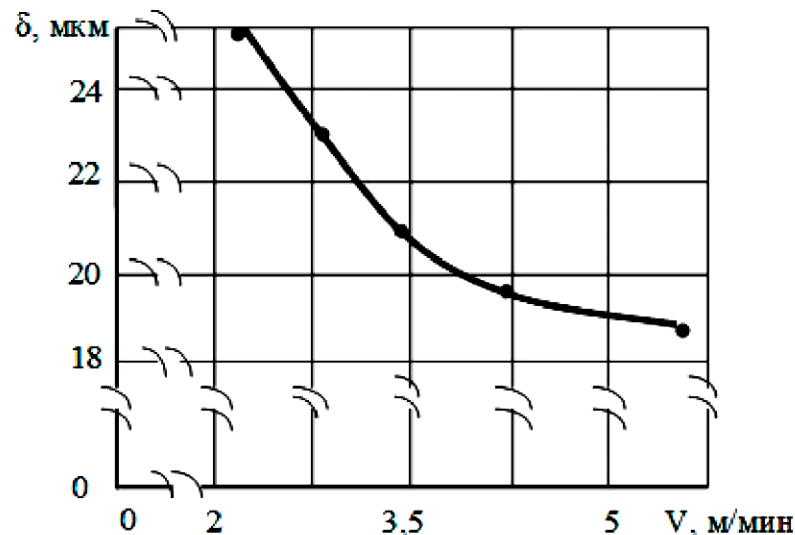


Рис. 5. Зависимости глубины дефектного поверхностного слоя от скорости резания, где на подаче $S = 0,25$ мм/об, сверла класса точности A1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм

На рис. 5 видно, что глубина дефектного поверхностного слоя имеет обратную зависимость от скорости резания, с увеличением скорости резания глубина дефектного поверхностного слоя уменьшается.

Авторы работ [7,8] на основании экспериментальных исследований показывают, что скорость резания имеет прямое и существенное влияние на разбивку отверстий. Такое влияние является результатом увеличения колебаний рабочей части сверла с увеличением частоты вращения шпинделя станка, в результате различного расстояния от центров масс конструктивных элементов рабочей части сверла до его оси в пределах допусков на размеры этих конструктивных элементов.

На рис. 6 приведены зависимости разбивки отверстий, просверленных сверлами класса точности А1, с осевым биением режущих кромок 0,06 мм от скорости резания [8].

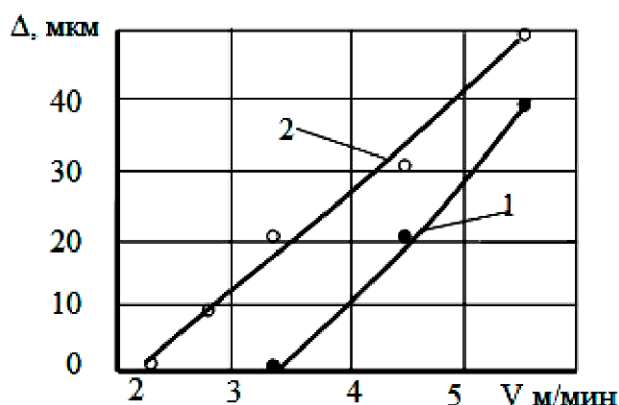


Рис.6. Зависимость разбивки отверстий от скорости резания, где 1 – $S = 0,2$ мм/об, 2 – $S = 0,25$ мм/об, сверла класса точности А1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм

На рис. 6 видно, что существуют скорости резания, на которых разбивка отверстий отсутствует. В этом случае вспомогательные задние поверхности ленточек находятся в полном контакте с обработанной поверхностью, в результате чего глубина дефектного поверхностного слоя максимальная (рис.5). С увеличением скорости резания разбивка отверстий увеличивается (рис.6), при этом площадки контакта ленточек с обработанной поверхностью отверстий уменьшаются, уменьшается степень их воздействия на обработанную поверхность, глубина дефектного поверхностного слоя уменьшается (рис.5). Разбивка отверстий также имеет прямую зависимость от подачи. С увеличением подачи разбивка отверстий увеличивается, в результате изгиба рабочей части сверла при увеличении осевой силы. На рисунке 6 видно, что увеличение подачи не оказывает существенного влияния на интенсивность разбивки отверстий, угол наклона кривых графиков к оси абсцисс не меняется. По этой причине величина подачи не оказывает существенного влияния на интенсивность изменения глубины дефектного поверхностного слоя при увеличении скорости резания (рис.5).

В работе [9] приведены результаты испытаний твердости просверленных отверстий сверлами диаметром 11 мм класса точности В с осевым биением 0,3 мм (табл.8) и класса точности А1 с осевым биением 0,06 мм с двухплоскостной заточкой задних поверхностей (табл.9).

Таблица 8 - Твердость поверхности отверстий просверленных сверлами нормальной точности класса В

V, м/мин	S, мм/об					
	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
	HRC					
2,18					11,5	11,7
2,76				12	12,3	10,6
3,45			14,8	11,4	12,7	13,0
4,32		19,3	20,3	17,3	19,2	16,6
5,53	12,6	12,5	12,0	16,0	13,4	12,8

Таблица 9 - Твердость поверхности отверстий при сверлении сверлами повышенной точности класса А1

V, м/мин	S, мм/об					
	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
	HRC					
2,18					11,0	12,2
2,76				9,7	10,8	12,6
3,45			9,4	11,1	11,7	12,3
4,32		8,3	9,5	10,7	11,5	12,8
5,53	10,7	11,4	11,0	11,6	12,5	14,3

Среднее значение твердости поверхности отверстий просверленных сверлами класса точности В (табл.4) составляет $\overline{HRC} 14,1$, тогда как среднее значение глубины дефектного слоя отверстий просверленных сверлами класса точности А1 составляет $\overline{HRC} 11,255$.

У сверл класса точности А1 при максимальной подаче, равной 0,25 мм/об рассчитанная по формуле (3) равнодействующая сила $\Delta P_y = 16,32$ кгс т.е. в 4,2 раза меньше, чем у сверл класса точности В. При этом среднее значение твердости поверхности отверстий в табл. 5 в 1,25 раза меньше, чем в табл. 4. (11,255 и 14,1 соответственно). Это означает, что уменьшение твердости поверхности отверстий, просверленных сверлами класса точности А1 по сравнению с отверстиями просверленными сверлами класса точности В не прямо пропорционально уменьшению равнодействующей силы. Равнодействующая сила зависит от подачи (3), поэтому основной причиной отсутствия прямой пропорции между уменьшением равнодействующей силы и уменьшением средней твердости поверхности отверстий может быть наличие функциональной зависимости между глубиной дефектного слоя и подачей у сверл класса точности А1 (табл.5) при отсутствии такой зависимости у сверл класса точности В (табл.4). Это подтверждается результатом корреляционного анализа взаимосвязи между подачей и твердостью поверхности отверстий, представленного в табл. 10

Таблица 10 - Коэффициент линейной корреляции Пирсона r между подачей и твердостью поверхности отверстий

V, м/мин	Сверла класса точности В		Сверла класса точности А1	
	r		r	
4,32	-0,682	не значим	0,99	значим
5,53	0,216	не значим	0,934	значим

Значимый коэффициент корреляции предполагает наличие прямой функциональной зависимости твердости поверхности отверстий просверленных сверлами класса точности А1 от подачи. Характер этой зависимости представлен графиками на рисунке 7 [9].

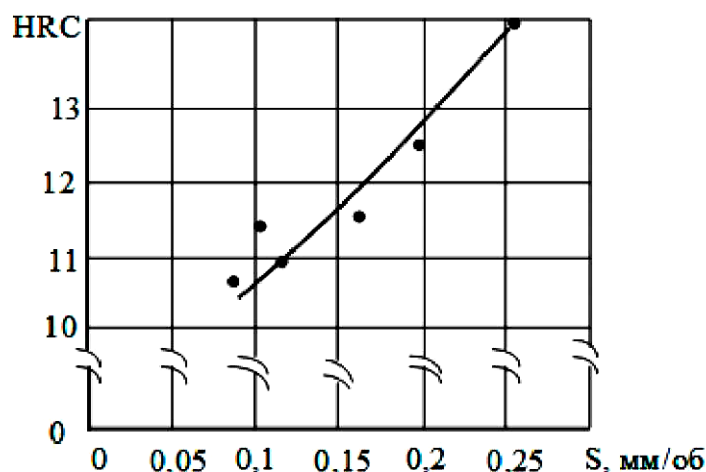


Рис.7. Зависимости твердости поверхности отверстий от подачи сверл класса точности A1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм, на скорости резания $V = 5,53 \text{ м/мин}$

На рис. 7 показано, что твердость поверхности отверстий, просверленных сверлами класса точности A1 имеет прямую зависимость от подачи, что оказывает влияние на среднее значение твердости поверхности этих отверстий.

В табл. 11 представлены рассчитанные по зависимостям (2) и (3) радиальные силы и равнодействующие радиальные силы сверл класса точности A1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм

Таблица 11

$S, \text{ мм/об}$	0,078	0,1	0,13	0,16	0,20	0,25
$P_y, \text{ кгс}$	30,1	35,8	43	49,8	58	68
$\Delta P_y, \text{ кгс}$	23,1	21,5	19,8	18,6	17,4	16,3
$(P_y + \Delta P_y), \text{ кгс}$	53,2	57,3	62,8	68,4	75,4	84,3

На рис. 8 приведены графики зависимости суммы радиальной и равнодействующей радиальной сил представленных в табл. 7.

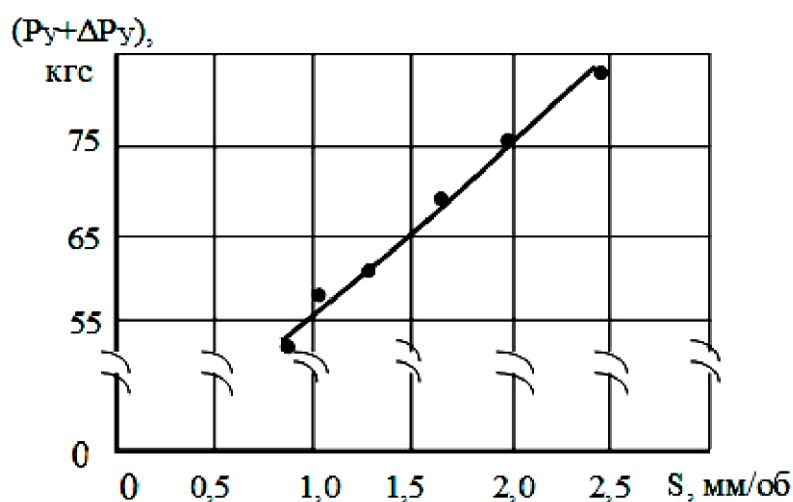


Рис.8. Зависимость суммы радиальной силы и равнодействующей радиальной силы от подачи, сверла класса точности A1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм

На рис. 8 видно, что суммарная радиальная сила равномерно возрастает с увеличением подачи. Характер зависимости суммарной радиальной силы от подачи аналогичен характеру зависимости твердости поверхности отверстий от подачи (рис.7).

Скорость резания не влияет на силы резания при сверлении [1, 2, 3, 4]. Однако в работе [8] приведена эмпирическая зависимость твердости поверхности просверленных отверстий от скорости резания при сверлении сверлами класса точности А1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм, представленная на рисунке 5.

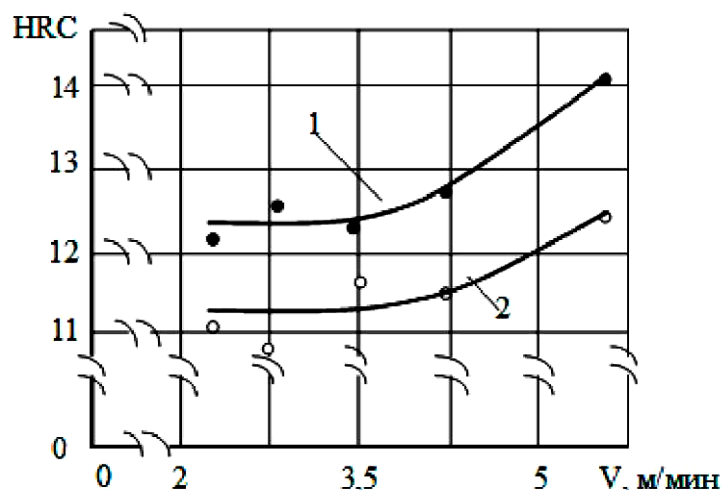


Рис. 9. Зависимости твердости поверхности просверленных отверстий от скорости резания, где 1 – $S = 0,25$ мм/об, 2 – $S = 0,2$ мм/об

На рис. 9 представлены прямые зависимости твердости поверхности просверленных отверстий от скорости резания, на которых интенсивность увеличения твердости значительно возрастает на скоростях резания 4,32 и 5,53 м/мин.

Известно, что температура в зоне резания в основном зависит от скорости резания. В работе [10] представлена эмпирическая зависимость температуры в зоне резания от скорости резания, имеющая вид

$$\Theta = 37,824V^{0,7328}. \quad (4)$$

Рассчитанные по зависимости (4) температуры в зоне резания показаны на рисунке 10.

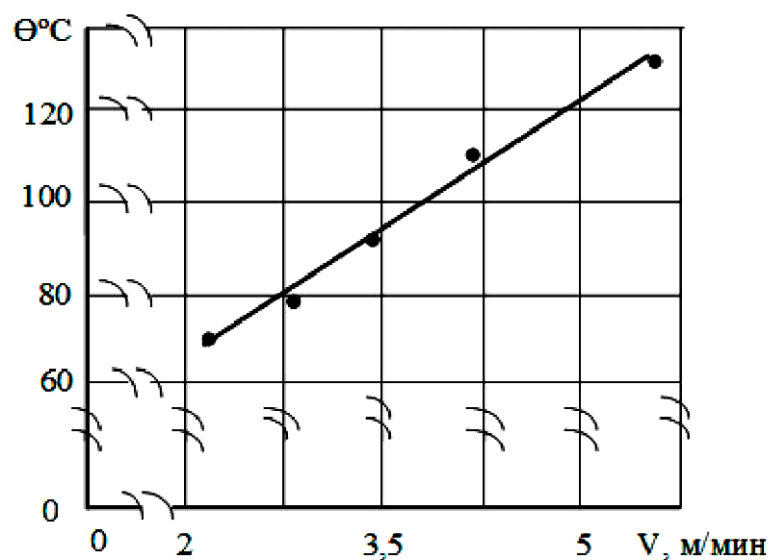


Рис.10. Зависимости температуры в зоне резания от скорости резания, на подаче $S = 0,25$ мм/об, сверла класса точности А1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм

В работе [11] представлены зависимости прочности и пластичности углеродистой конструкционной стали от температуры (рис. 11) на которых прочность уменьшается, а пластичность растет на температурах меньших 200°C, (участки 1 кривых рис.11).

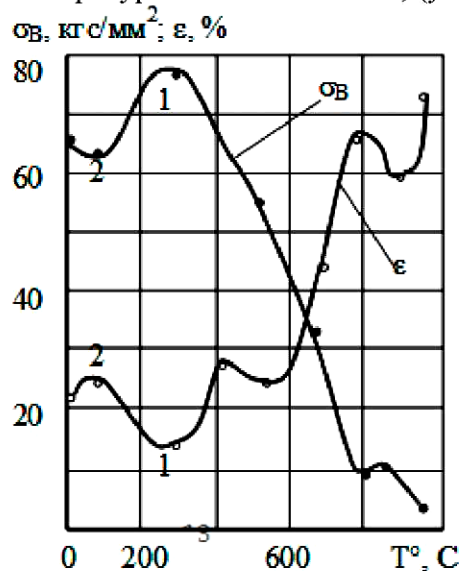


Рис. 11. Зависимость прочности и пластичности углеродистой конструкционной стали от температуры, где ϵ - степень деформации, характеризующая пластичность материала, σ_b – предел прочности.

При увеличении скорости резания от 2,18 м/мин до 5,53 м/мин температура в зоне резания растет в пределах от 70°C до 130°C (рис.10). Как видно на рисунке 11 температуры на скоростях резания 2,18-3,45 м/мин (70°C-94°C) находятся в области первого перегиба кривых графиков. Температуры скоростей резания 4,32 м/мин и 5,53 м/мин принадлежат участку 1-2 рисунка 11, на котором с увеличением температуры прочность углеродистых сталей растет, а пластичность уменьшается. В результате интенсивность увеличения твердости на этих скоростях резания повышается (рис.9).

В результате проведенных исследований разработаны физические закономерности формирования дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности отверстий, просверленных спиральными сверлами, на основе физической модели, отражающей характер влияния условий обработки сверлением на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий просверленных спиральными сверлами:

- погрешности заточки режущей части сверл (неодинаковая величина углов ϕ , длин главных режущих кромок, смещение поперечной кромки) вызывают осевое биение режущих кромок, от которого непосредственно зависит изменение величины подачи на зубьях сверла, определяющее появление и величину равнодействующей радиальной силы ΔP_y ;

- в результате отсутствия задних углов на уголках сверл и на вспомогательных задних поверхностях лезвий ленточек, уголки и вспомогательные кромки ленточек не режут, а деформируют (сминают) обработанную поверхность, оказывая воздействие на нее с равнодействующей радиальной силой ΔP_y ;

- у сверл класса точности А1 с осевым биением режущих кромок 0,06 мм имеет место прямая зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от подачи, интенсивность изменения которой уменьшается на скоростях резания 4,32 м/мин и 5,53 м/мин, и прямая зависимость твердости поверхности просверленных отверстий от подачи интенсивность изменения которой зависит от суммы радиальной силы и равнодействующей радиальной силы равномерно возрастающей при увеличении подачи;

- скорость резания на силы резания непосредственного влияния не оказывает, однако в результате прямой зависимости разбивки отверстий от скорости резания имеет место

обратная зависимость глубины дефектного поверхностного слоя от скорости резания, интенсивность которой уменьшается на скоростях резания 4,32 м/мин и 5,53 м/мин; а в результате прямой зависимости температуры в зоне резания от скорости резания имеет место прямая зависимость твердости поверхности просверленных отверстий от скорости резания, интенсивность которой возрастает на скоростях резания 4,32 м/мин и 5,53 м/мин.

Выводы

1. Разработана зависимость равнодействующей радиальной силы от осевого биения режущих кромок и подачи на оборот сверла.
2. Разработаны физические закономерности формирования дефектного поверхностного слоя и твердости поверхности отверстий, просверленных спиральными сверлами.
3. Разработана физическая модель отражающая характер влияния условий обработки сверлением на глубину дефектного поверхностного слоя и твердость поверхности отверстий просверленных спиральными сверлами.

Список литературы

1. Бобров, В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344с., ил.
2. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, П.П. Грудов и др. – М.: Машгиз, 1954. – 471 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с., ил.
4. Рагрин, Н.А. Физическая модель стойкостной зависимости при сверлении / Н.А.Рагрин // Технология машиностроения. – М.: 2012. – № 11. – С. 11 – 17.
5. Рагрин, Н.А. Определение закономерностей влияния погрешностей заточки спиральных сверл на их стойкость / Н.А. Рагрин, В.А. Самсонов, А.А. Айнабекова // Технология машиностроения. – М.: 2015. – № 7. – С. 27-31.
6. ГОСТ 2034-80 Сверла спиральные. Технические условия
7. Рагрин, Н.А. Разработка методов повышения качества отверстий сверлением / Н.А. Рагрин, У.М. Дыйканбаева // Научное обозрение. – М.: Наука образования, 2020, № 1. – С. 32-48.
8. Рагрин, Н.А. Разработка и обоснование закономерностей повышения показателей качества отверстий, обработанных сверлением / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева // Известия КГТУ. – Бишкек: 2018. – № (46). – С. 77-89.
9. Рагрин, Н. А. Повышение качества поверхностного слоя отверстий при обработке сверлением / Н.А.Рагрин, У.М. Дыйканбаева, А.А. Айнабекова, Д.М. Курганова // Машиноведение. – Бишкек: ИМАНАН КР, 2021. – № 2 (14). – С. 76-82.
10. Рагрин, Н.А. Разработка основ повышения качества отверстий обработанных стандартными спиральными сверлами / Н.А. Рагрин, А.А. Айнабекова, У.М. Дыйканбаева // Технология машиностроения. – М.: Технология машиностроения, 2023. – № 1 (247). – С. 2-12.
11. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. / М.В.Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с. С ил.