

УДК 621.922.3

В.А. Коротков, А.А. Дурсенев, К.Л. Квасов

РЕАЛИЗАЦИЯ СПОСОБА РОТАЦИОННО-АБРАЗИВНОЙ ОТРЕЗКИ ЗАГОТОВОВОК НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В заготовительных цехах и участках машиностроительных предприятий для раскroя металла на мерные заготовки применяются различные способы: кислородная резка, плазменно-дуговая резка, пресс-ножницы, хладноломы, резка ножовочными, дисковыми и ленточными пилами, а также абразивными кругами и др. [1]. Указанные способы требуют приобретения специального оборудования. В данной работе предложен и опробован на практике способ ротационно-абразивной отрезки крупногабаритных заготовок на токарных станках с применение угловых шлифовальных машинок и быстросъемных станочных модулей. Применение способа ротационно-абразивной отрезки в условиях мелкосерийного производства и небольших цехов с минимальным набором универсального оборудования позволяет быстро и экономически эффективно решать задачи по раскрою крупногабаритных заготовок – тел вращения.

Принцип предлагаемого вида обработки заключается в одновременном встречном вращении шлифовального отрезного круга и заготовки, а также в обеспечении подачи отрезного круга. Преимуществом данного способа является простота конструктивной схемы и возможность её реализации на различных универсальных станках, малая толщина пропила и возможность разрезки заготовок большого диаметра, изготовленных из любых, в том числе и труднообрабатываемых материалов.

На рис. 1 представлена принципиальная схема ротационно-абразивной отрезки, реализованная на токарно-винторезном станке модели 1К62, с установленной угловой шлифовальной машинкой (УШМ).

В шпинделе 2 токарного станка 1 закрепляется заготовка 3. Угловая вальная машинка 8 крепится в резцедержателе 6 при помощи шестигранной ки 5 и металлического жимного хомута 7. В вую шлифовальную машину установлен отрезной вальный круг 4, за- ный кожухом 9. Элементы крепления УШМ в

держателе на суппорте станка показаны на рис. 2.

Здесь штатная рукоятка УШМ заменена аналогичной по габаритам, но выполненной из шестигранного проката, что позволяет надёжно фиксировать её в резцедержателе токарного станка, подобно державкам резцов. Задняя часть УШМ фиксируется с помощью специального хомута, также закрепляемого в резцедержателе.

Первичная апробация предлагаемого способа была проведена путём разрезки заготовок с наружным диаметром 125 мм из чугуна марки СЧ20 отрезным кругом с наружным диаметром 230 мм и высотой 2,8 мм. Режимы обработки при проведении испытаний: частота вращения шпинделя с заготовкой 31 об/мин; частота вращения отрезного шлифовального круга 6640 об/мин ($V=80$ м/с); поперечная подача суппорта с УШМ и отрезным кругом 0,17 мм/об. Защита направляющих станины от налипания продуктов шлифования обеспечивалась их интенсивным смазыванием и смачиванием СОЖ перед началом отрезки. В результате проведения эксперимента подтверждена эффективность способа ротационно-абразивной отрезки и возможность его реализации на токарно-винторезных станках. На обработанной поверхности заготовок отсутствуют прижоги и деформации. Достигнута глубина отрезки, существенно превышающая возможности обычных отрезных токарных резцов.

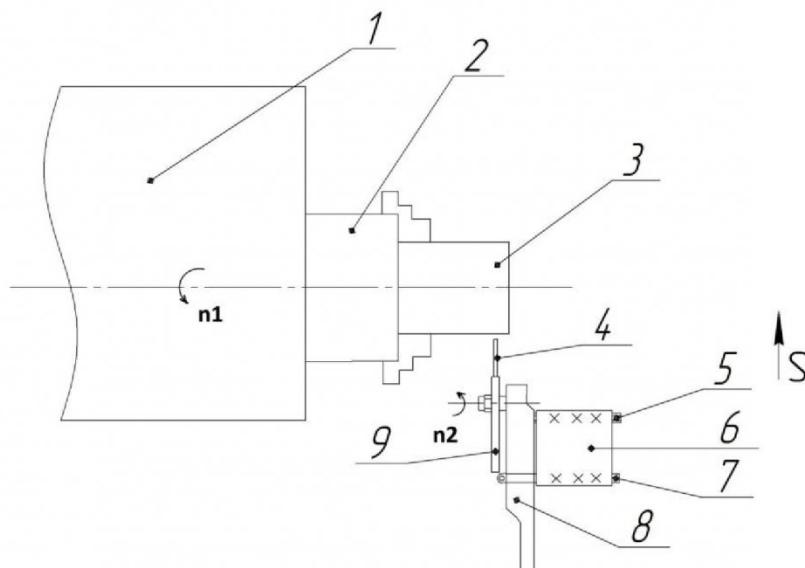


Рис. 1. Принципиальная схема ротационно-абразивной отрезки

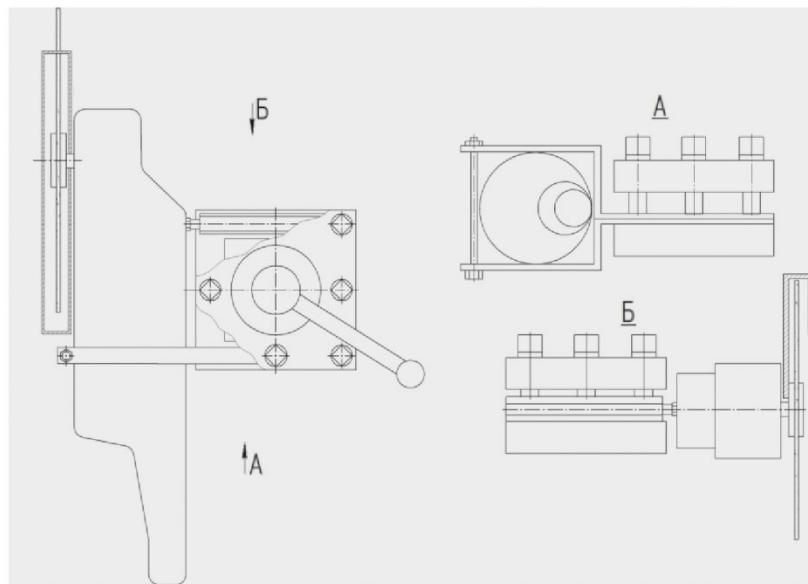


Рис. 2. Элементы крепления УШМ в резцодержателе на суппорте токарно-винторезного станка

В дальнейшем, для увеличения максимального диаметра разрезаемых заготовок штатный защитный кожух угловой шлифовальной машинки для отрезных кругов с наружным диаметром 230 мм был заменён специально изготовленным кожухом увеличенного размера, обеспечивающий установку отрезных кругов с максимальным диаметром 300 мм. При данном диаметре кругов и частоте вращения шпинделя УШМ (6640 об/мин) их рабочая скорость составляет порядка 100 м/с. Поэтому для проведения дальнейших испытаний были использованы отрезные круги повышенной прочности Kronenflex 300x4x25,4 A 24 R Supra BF 100 м/с. (14A 80Н Т1 БУ 100 м/с).

При проведении испытаний основными исследуемыми показателями являлись потребляемая и эффективная мощность резания, режущая способность кругов, коэффициент шлифования и шероховатость обработанных поверхностей. Для контроля указанных параметров использовались лабораторные весы ВЛКТ-500г-М с ценой деления 0,01 г, мультиметр цифровой MY 68, механический секундомер и профилограф-профилометр Tolisurf.

Эффективная мощность резания (W_{eff}), характеризует уровень энергозатрат при работе шлифовального круга и определялась через разницу мощностей рабочего (W) и холостого ходов (W_{xx}):

$$W_{\text{eff}} = W - W_{\text{xx}} \quad (1)$$

Коэффициент шлифования ($K_{\text{ш}}$), является относительным показателем износа шлифовального инструмента и вычислялся как отношение массы снятого материала заготовки (ΔM_3) к израсходованной массе круга (ΔM_k):

$$K_{\text{ш}} = \frac{\Delta M_3}{\Delta M_k} \quad (2)$$

Режущая способность (Q_m), называемая также производительностью шлифования, определялась как отношение массы снятого материала заготовки (ΔM_3) ко времени обработки (t):

$$Q_m = \frac{\Delta M_3}{t} \quad (3)$$

Процесс разрезки заготовок (Ø125 мм СЧ20) осуществлялся на протяжении нескольких минут, в течение которых потребляемая мощность резания УШМ колебалась в широких пределах в связи с периодическим переходом отрезного шлифовального круга от режима самозатачивания к режиму затупления, а также в связи с постепенным уменьшением диаметра разрезаемой заготовки. Поэтому параметр потребляемой мощности резания контролировался и записывался через каждые 60 с, что позволяло оценить данный параметр и эффективную мощность резания в динамике, а также рассчитать средние величины потребляемой и эффективной мощностей резания при осуществлении каждого реза. Для оценки коэффициента шлифования отрезных кругов перед началом испытаний и после каждого реза измерялись массы круга, заготовки и отрезаемых от неё частей.

В ходе испытаний определялись рациональные режимы резания ротационно-абразивной отрезки для разрезаемой заготовки и используемого круга по комплексу эксплуатационных показателей. Для их определения были проведены эксперименты при частотах вращения шпинделя токарно-винторезного станка с закреплённой заготовкой: $n=25$ об/мин, $n=31,5$ об/мин и $n=40$ об/мин. Величины подач отрезного круга на каждой из указанных частот вращения шпинделя варьировались в диапазоне: $S=0,07$ мм/об, $S=0,074$ мм/об, $S=0,084$ мм/об, $S=0,097$ мм/об. Получаемые результаты заносились в таблицы формата Excel, на основе которых строились линейные, логарифмические, степенные и экспоненциальные зависимости и среди них выбирались наиболее достоверные по наибольшему коэффициенту корреляции.

Первым оцениваемым параметром являлась потребляемая мощность резания на шпинделе УШМ. Результаты оценки потребляемой мощно-

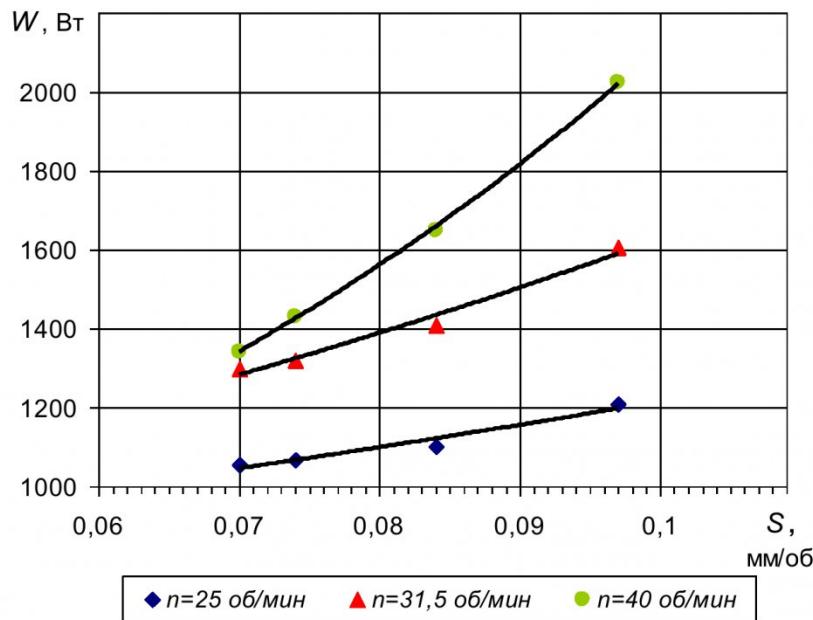


Рис. 3. Зависимости потребляемой мощности при резании (W) от величины поперечной подачи отрезного круга (S) при различных частотах вращения шпинделя с заготовкой (n)

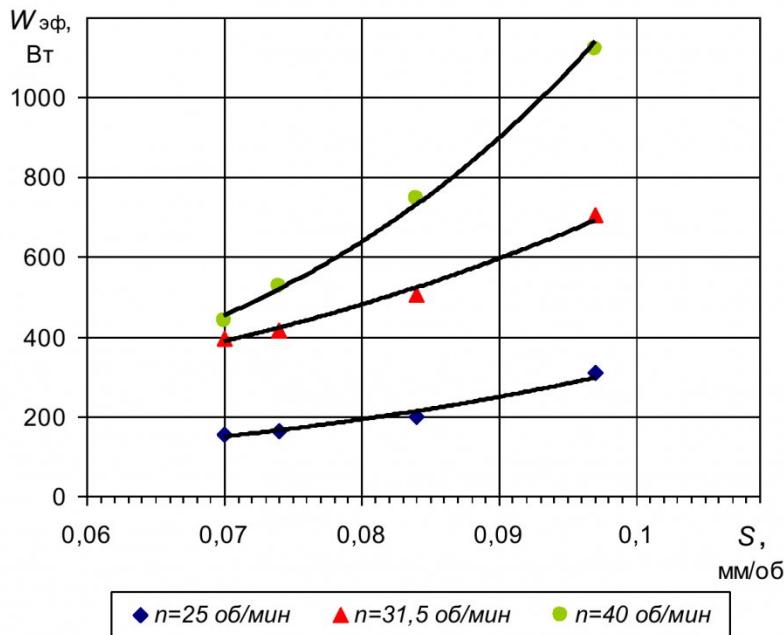


Рис. 4. Зависимости эффективной мощности при резании ($W_{\text{эф}}$) от величины поперечной подачи отрезного круга (S) при различных частотах вращения шпинделя с заготовкой (n)

сти резания УШМ при различных режимах резания представлены на рис. 3., а эффективной мощности резания – на рис. 4.

Установленные зависимости потребляемой мощности резания (рис. 3.) от величины поперечной подачи отрезного круга при различных частотах вращения шпинделя с заготовкой наиболее достоверно выражаются экспоненциальными математическими моделями:

$$n=25 \text{ об/мин: } W=736,15 \cdot e^{5,0172 \cdot S} \quad R^2 = 0,95 \quad (4)$$

$$n=31,5 \text{ об/мин: } W=735,52 \cdot e^{7,9479 \cdot S} \quad R^2 = 0,97 \quad (5)$$

$$n=40 \text{ об/мин: } W=465,22 \cdot e^{15,134 \cdot S} \quad R^2 = 0,98 \quad (6)$$

Зависимости эффективной мощности резания от величины поперечной подачи отрезного круга при различных частотах вращения шпинделя с заготовкой (рис. 4) наиболее достоверно выражаются экспоненциальными математическими моделями вида:

$$n=25 \text{ об/мин: } W_{\text{эф}}=24,887 \cdot e^{25,550 \cdot S} \quad R^2 = 0,97 \quad (7)$$

$$n=31,5 \text{ об/мин: } W_{\text{эф}}=85,948 \cdot e^{21,493 \cdot S} \quad R^2 = 0,99 \quad (8)$$

$$n=40 \text{ об/мин: } W_{\text{эф}}=41,181 \cdot e^{34,229 \cdot S} \quad R^2 = 0,99 \quad (9)$$

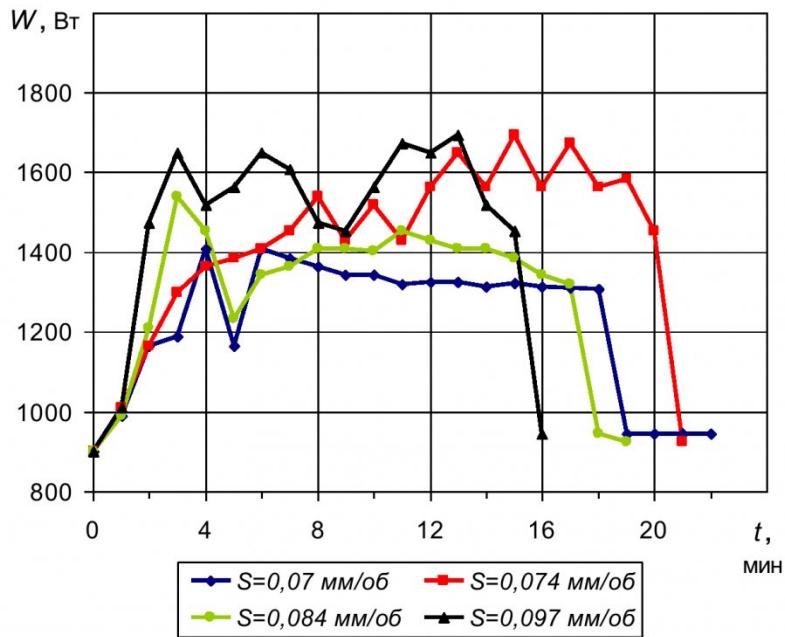


Рис. 5. Изменение потребляемой мощности при резании (W) в процессе отрезки при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5 \text{ об/мин}$ и различных подачах круга.

Полученные результаты наглядно показывают, что с увеличением частоты вращения шпинделя с заготовкой и подачи шлифовального круга происходит существенный рост потребляемой и эффективной мощностей резания. При этом установлено, что при $n=40 \text{ об/мин}$ потребляемая мощность резания близка к предельным возможностям двигателя УШМ (2,2 кВт), что вызывало его перегрев, а при пиковых колебаниях – срабатывание предохранителя. Также установлено, что при час-

тоте вращения шпинделя с заготовкой $n=25 \text{ об/мин}$ производительность отрезки чрезвычайно низка. Продолжительность одного реза здесь достигала нескольких десятков минут. Поэтому для дальнейших исследований была принята рациональная частота вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5 \text{ об/мин}$.

Изменение потребляемой мощности резания в динамике при данной частоте вращения шпинделя токарно-винторезного станка и различных пода-

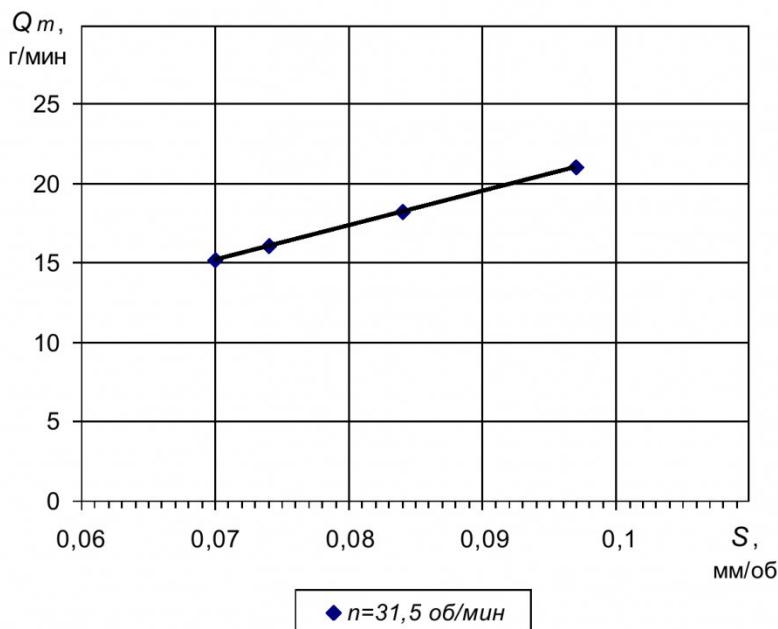


Рис. 6. Зависимость режущей способности отрезных кругов (Q_m) при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5 \text{ об/мин}$ от величины поперечной подачи (S).

чах круга можно видеть на графиках (рис. 5).

Полученные результаты (рис. 5), свидетельствуют о том, что потребляемая мощность резания на шпинделе УШМ резко возрастает в первые две минуты обработки, после чего в течение последующего периода времени держится примерно на одном уровне с некоторыми колебаниями, обусловленными переходами отрезного круга из режима самозатачивания в режим затупления и обратно. Незадолго до окончания обработки потребляемая мощность резко снижается в связи с уменьшением диаметра заготовки.

Взаимосвязь режущей способности отрезных

кругов при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5$ об/мин с величиной подачи круга отражена в виде графика (рис. 6).

Полученные результаты по оценке режущей способности отрезных кругов при различных режимах резания (рис. 6) показывают, что при переходе от величины подачи круга $S=0,07$ мм/об к $S=0,097$ мм/об данный показатель возрастает с $Q_m=15,2$ г/мин до $Q_m=21$ г/мин, т.е. на 38% и отражается линейной математической зависимостью:

$$Q_m = -3 \cdot 10^{-13} + 216,64 \cdot S \quad R^2 = 0,99 \quad (10)$$

При реализации способа ротационно-

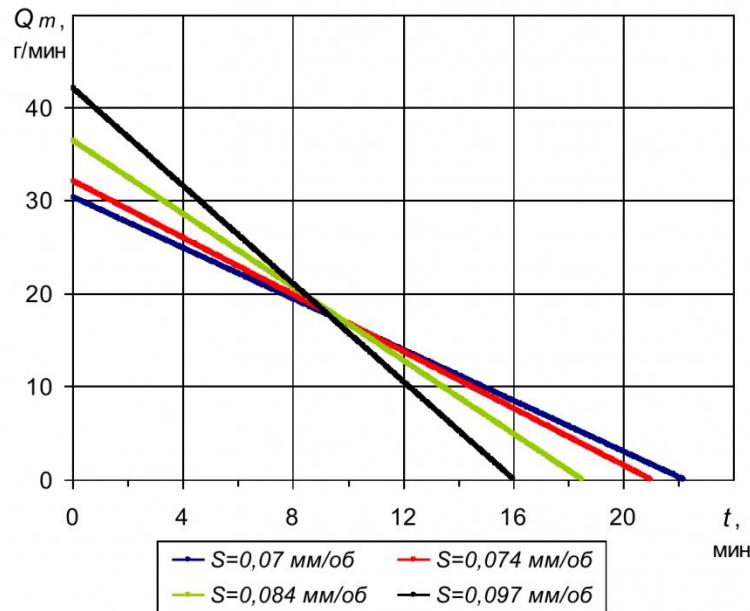


Рис. 7. Изменения режущей способности отрезных кругов в процессе ротационно-абразивной отрезки при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5$ об/мин и различных величинах подач круга (S)

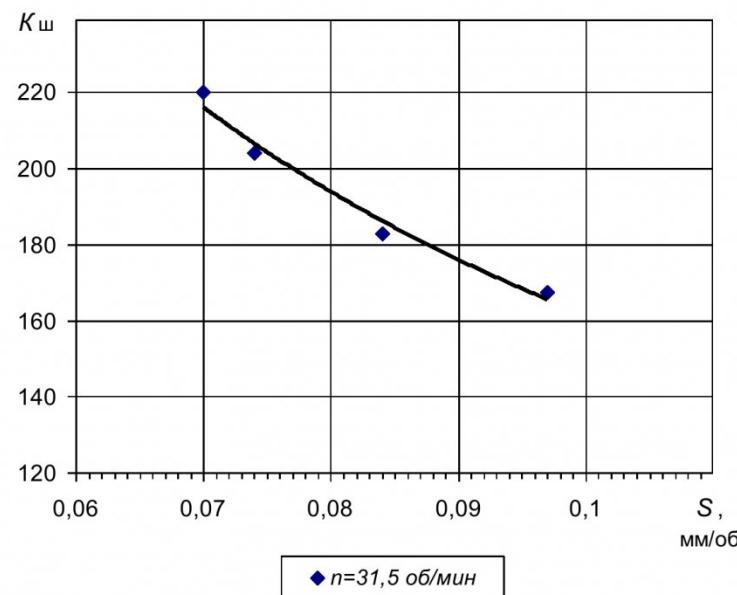


Рис. 8. Зависимость коэффициента шлифования отрезных кругов ($K_{ш}$) от величины подачи круга (S) при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5$ об/мин

абразивной отрезки линейными зависимостями также отражается изменение режущей способности отрезных кругов в процессе резания. Происходит её снижение пропорционально уменьшению диаметра разрезаемой заготовки (рис. 7). Обусловлено это тем, что при данной схеме обработки обеспечивается постоянная величина подачи отрезного круга, в отличие от большинства других случаев отрезки шлифовальными кругами, когда обеспечивается постоянное усилие прижатия заготовки и инструмента. В связи с этим, максимальные значения режущей способности кругов здесь наблюдаются в процессе резания на наибольшем диаметре заготовки (рис. 7), вдвое превышающие величины режущей способности по результатам отрезки (рис. 6). По мере приближения отрезного круга к оси вращения его режущая способность стремится к нулю. Чем больше величина подачи кругов, тем интенсивнее снижается их режущая способность в процессе отрезки.

Зависимость коэффициента шлифования отрезных шлифовальных кругов при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5$ об/мин от величины подачи круга S отражена в виде графика на рис. 8. Его зависимость от величины подачи круга при частоте вращения шпинделя с заготовкой $n=31,5$ об/мин (рис. 8) выражается степенной зависимостью вида:

$$K_{\text{ш}} = 24,542 \cdot S^{0,8181} \quad R^2 = 0,98 \quad (11)$$

Из графика (рис. 8) следует, что при ротационно-абразивной отрезке коэффициент шлифования отрезными кругами достигает весьма значительных величин. В рассматриваемом случае коэффициент шлифования находится в диапазоне $K_{\text{ш}}=167,5 \div 220$, в то время как при обычных видах абразивной отрезки он колеблется в пределах $K_{\text{ш}}=3 \div 20$, т.е. его величина на порядок ниже [2]. Объясняется это тем, что контакт отрезного круга и заготовки при ротационно-абразивной отрезке происходит на весьма небольшом участке, микрорезание зёренами носит прерывистый и скоротечный характер. Нагрузка на единичные зёरна здесь существенно меньше, чем при обычной абразивной отрезке, когда заготовка неподвижна и контакт с отрезным кругом происходит по линии, близкой к размеру поперечного сечения заготовки. Помимо этого, теплонапряжённость процесса резания при ротационно-абразивной отрезке существенно ниже по сравнению с обычной.

Непрерывное вращение заготовки приводит к равномерному распределению теплового потока по всему периметру окружности прорезаемой канавки, а также к интенсивному отводу тепла от зоны резания. Выражается это в отсутствии цветов побежалости на обрабатываемых поверхностях заготовки.

Это служит подтверждением того, что средняя температура на поверхностях заготовки в процессе отрезки не превышает уровня $200 \div 220$ °С и, следовательно, не происходит изменений кри-

сталлической микроструктуры обрабатываемого материала и существенных деформаций разрезаемой заготовки. Так, отрезаемые от заготовки части (диски толщиной 3 мм) не имели изгиба по торцу, в отличие от дисков с близкими размерами, отрезанными токарными резцами.

Кроме того, установлено, что при ротационно-абразивной отрезке с увеличением подачи отрезных кругов их коэффициент шлифования снижается, т.е. увеличивается износ кругов. Это обусловлено увеличением толщин срезаемых стружек и, соответственно, ростом нагрузок на единичные шлифовальные зерна. Так, при переходе от $S=0,07$ об/мин к $S=0,097$ об/мин коэффициент шлифования отрезных кругов снижается на 24%.

Исследования шероховатости поверхностей, получаемых при ротационно-абразивной отрезке, показали, что, как и ожидалось, с увеличением подачи отрезного круга происходит рост шероховатости (рис. 9).

Кроме того, установлено, что на различных поверхностях заготовки (торец заготовки в патроне и торец отрезаемой части) шероховатость отличается весьма существенно.

В связи с этим исследованы зависимости шероховатости поверхностей от величины подачи круга на обеих указанных поверхностях.

Зависимости шероховатости (R_a), полученные при ротационно-абразивной отрезке, от подачи отрезного круга наиболее достоверно можно отразить логарифмическими моделями:

Торец заготовки в патроне:

$$R_a = 10,88 + 3,8062 \cdot \ln(S) \quad R^2 = 0,95 \quad (12)$$

Торец отрезаемой части:

$$R_a = 21,99 + 6,9898 \cdot \ln(S) \quad R^2 = 0,91 \quad (13)$$

Исследование шероховатости торцев разрезаемых заготовок показывает (рис. 7), что большей чистотой поверхности характеризуются части заготовок, остающиеся после отрезки в патроне.

Шероховатость на данных поверхностях при переходе от подачи $S=0,07$ мм/об до $S=0,097$ мм/об колеблется в пределах $R_a=0,58 \div 1,88$ мкм, т.е. увеличивается более, чем в 3 раза. Шероховатость торцев отрезаемых частей заготовок растет с $R_a=2,66$ мкм до $R_a=5,12$ мкм при увеличении подачи от $S=0,07$ мм/об до $S=0,097$ мм/об, т.е. возрастает примерно в 2 раза. При этом, шероховатость отрезаемых частей в среднем в 3,5 раза выше шероховатости торцев, остающихся в патроне.

Объясняется это малой толщиной отрезаемых дисков (3 мм) и их вибрацией в процессе отрезки, передающейся от шлифовального круга. Вибрации, в свою очередь, вызываются торцевым биением кругов, что подтверждается тем, что толщина прорезаемых на заготовке канавок на $0,2 \div 0,3$ мм больше высоты отрезных кругов. Кроме того, вибрации шлифовальных кругов обусловлены недостаточной жесткостью крепления угловой шлифовальной машинки в резцедержателе станка.

Снизить вибрации отрезных кругов можно

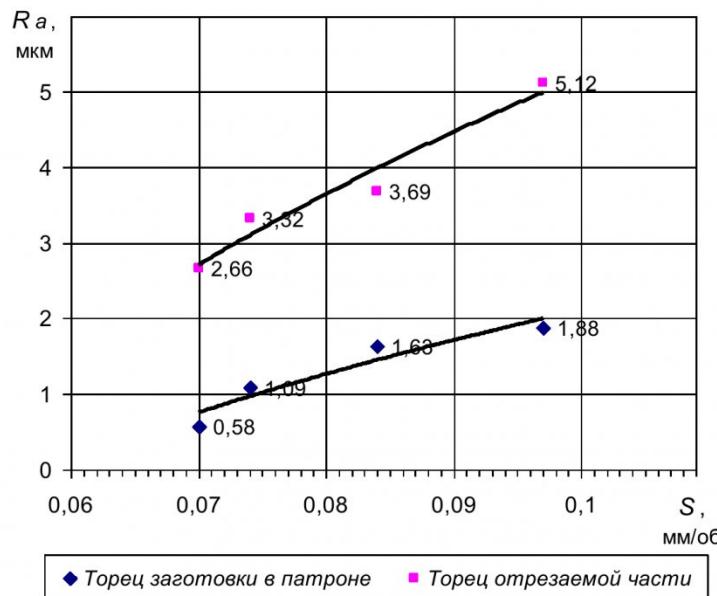


Рис. 9. Зависимости шероховатости (R_a) на торце заготовки, остающейся в патроне и на торце отрезаемой части заготовки, от подачи круга (S) при $n=31,5$ об/мин

путём создания специального быстросъёмного станочного модуля с возможностью жёсткого закрепления на суппорте станка. Полученные результаты по шероховатости соответствуют чистовому токению, что более чем достаточно для операции отрезки, которая классифицируется как черновая. Среди недостатков ротационно-абразивной отрезки – повышенная шумность при работе и появление запылённости при осуществлении нескольких резов, что обуславливает применения мощного вытяжного оборудования и гибких фартуков, прикрывающих рабочие части направляющих станины токарного станка.

Таким образом, результаты испытаний показывают, что предлагаемый способ ротации-онно-абразивной отрезки, реализуемый на универсальных токарных станках с установленной на суппорте угловой шлифовальной машинкой, позволяет высокопроизводительно, с коэффициентом шлифования в десятки раз большим, чем при обычной абразивной отрезке, а также с высокой точностью и качеством обработки осуществлять разрезку заготовок большого диаметра в условиях мелкосерийного и единичного производства без примене-

ния специализированного разрезного оборудования.

Данный способ отрезки позволяет раскраивать заготовки с максимальными диаметрами, вдвое большими, по сравнению с обычной схемой отрезки абразивными кругами. При этом износ отрезных кругов здесь во много раз меньше. На обрабатываемых поверхностях отсутствуют термические прижоги и деформации. Режимы резания при ротационно-абразивной отрезке по параметру частоты вращения заготовки и подаче отрезного круга ограничиваются максимальной мощностью электродвигателя привода отрезного круга. Рациональная частота вращения шпинделя с заготовкой в рассматриваемом случае составила $n=31,5$ об/мин, а величина подачи отрезного круга находилась в диапазоне $S=0,07 \div 0,097$ мм/об.

Для обеспечения максимальной производительности обработки целесообразно выбирать максимально возможную подачу круга (т.е. в данном случае $S=0,097$ мм/об), а для достижения минимального износа инструмента и минимальной шероховатости обработанных поверхностей – принимать минимальную подачу ($S=0,07$ мм/об).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железнов, Г.С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов / Г. С. Железнов, А. Г. Схиртладзе – Старый Оскол. : ТНТ, 2011. – 456 с.
2. Коротков, В.А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов: монография. – Москва: Машиностроение, 2009. – 178 с.

Авторы статьи:

Коротков
Виталий Александрович,
канд. техн. наук, доцент каф. «Металло-
режущие станки и инструменты» Куз-
ГТУ, e-mail: korotkov-va@mail.ru

Дурсенев
Александр Анатольевич,
магистрант КузГТУ,
группа МСм-121,
тел. 8-3842-39-63-99

Квасов
Кирилл Леонидович,
магистрант КузГТУ,
группа МСм-131,
тел. 8-3842-39-63-99