

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И СОЖ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЗАУСЕНЦЕВ ПРИ СВЕРЛЕНИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Алюминиевый сплав АК5Мч широко используется в аэрокосмической и автомобильной промышленности для замены более тяжелых сплавов. Это связано с его превосходными свойствами высокой удельной прочности, высокой коррозионной стойкостью, хорошей формуемостью и низкой стоимостью изготовления. Пластичность и выделение тепла при сверлении АК5Мч часто приводит к образованию заусенцев на входе и выходе с поверхности заготовки. В данном исследовании показано влияние скорости резания и условий сверления на образование заусенцев в сплаве АК5Мч. Сверление проводилось с использованием СОЖ и без СОЖ с использованием сверл из быстрорежущей стали диаметром 6,0 мм со скоростями резания 20, 42 и 60 м/мин при постоянной подаче 0,15 мм/об. Это исследование показало, что сверление АК5Мч со скоростью резания 42 м/мин с использованием СОЖ является выгодным, так как приводит к наименьшему износу инструмента и минимальному образованию заусенцев.

Ключевые слова: сверление, алюминий, обработка, заусенец, отверстие, производительность, точность.

Введение. Сверление является наиболее распространенным процессом удаления материала, используемым в аэрокосмической и автомобильной промышленности для создания или увеличения отверстий в компоненте для целей сборки. Высокая пластичность алюминиевых сплавов часто приводит к образованию сплошной длинной стружки и заусенцев на входе и выходе из просверленных отверстий. Заусенец представляет собой пластически деформированный материал заготовки, который обычно тверже исходного материала из-за эффекта деформационного упрочнения [1]. Образование заусенцев на входе и выходе из отверстий может затруднить сборку деталей, а также привести к браку продукции. Существует три стадии образования заусенцев: (1) инициация, после которой начинается пластическая деформация; (2) развитие, при котором деформация материала увеличивается, а количество разрезаемого материала уменьшается; и (3) формирование, когда происходит только пластическая деформация и заусенец принимает окончательную форму [2]. Форма заусенца может быть описана его высотой, толщиной и радиусом: равномерный заусенец, маленький и ровный вокруг отверстия; корончатый заусенец, высокий и зазубренный; завернутый заусенец, представляющий собой длинный заусенец, который закатился под себя [2].

Большой заусенец может образоваться во время сверления алюминиевого сплава в результате высокой температуры резания, вызывающей обшир-

ную пластическую деформацию в процессе удаления материала из-за высокой пластичности сплава [3]. Кроме того, использование сверл с большими углами при вершине (например, 120–140°) вызывает более локальную пластическую деформацию по периферии отверстия, что приводит к возникновению трещин и образованию заусенцев [4]. Заусенцы на входе и выходе из отверстия нежелательны, поскольку они могут повлиять на точность и качество заготовки, например, на ухудшение качества поверхности и искажение размеров на кромке детали. Кроме того, это также может вызвать трудности при сборке детали в узел [5]. Поэтому для удаления заусенцев обычно требуется дополнительный процесс, такой как снятие заусенцев. Однако процесс снятия заусенцев не считается операцией, добавляющей ценности, поскольку он является дорогостоящим и трудоемким [6].

Затраты для высокоточных деталей на удаление заусенцев могут достигать 30 % от производственных затрат [7]. Кроме того, операция удаления заусенцев может быть сложной из-за расположения заусенцев, длины и количества кромок, подлежащих удалению, а также размера заусенцев. Промышленная практика показала, что стоимость операций по удалению заусенцев увеличивается с увеличением сложности и точности детали [8].

В этом исследовании исследуется влияние условий и параметров сверления во время сверления АК5Мч на износ инструмента, а также на образование заусенцев.

Таблица 1

Параметры сверления

№	Скорость подачи (мм/об)	Режим СОЖ	Скорость резания, (мм/мин)
1	0,15	без СОЖ	20
2	0,15	без СОЖ	42
3	0,15	без СОЖ	60
4	0,15	с СОЖ	20
5	0,15	с СОЖ	42
6	0,15	с СОЖ	60

1. Постановка задачи. В данном эксперименте в качестве материала заготовки использовался необработанный АК5Мч размерностью 150 мм – 130 мм – 12 мм. Скорость резания и условия сверления (сухая обработка или с охлаждающей жидкостью) были признаны основными факторами, влияющими на образование заусенцев [9]. Скорости резания варьировались в этом исследовании и составляли 20, 42 и 60 м/мин. Использовали постоянную скорость подачи 0,15 мм/об (табл. 1). Сверление проводилось всухую и со смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) на фрезерном станке с ЧПУ Integrex J-200. На протяжении всего эксперимента использовались сверла из быстрорежущей стали с углом заточки 118 и диаметром 6,90 мм. Для измерения высоты и ширины заусенца использовали оптический микроскоп с измерительными функциями. В этом исследовании были зафиксированы четыре геометрические формы заусенца: высота входного заусенца, ширина входного корня заусенца, высота выходного заусенца и выходная ширина корня заусенца.

2. Проведение эксперимента. Сравнивая влияние скорости резания на износ инструмента, можно увидеть, что не наблюдалось существенной разницы в скорости износа инструмента для всех скоростей резания, используемых для сверления без СОЖ (рис. 1). Однако в случае сверления алюминия АК5Мч с использованием СОЖ использование более низких скоростей резания 20 и 42 мм/мин приводило к снижению скорости износа инструмента в среднем на 12 % по сравнению с более высокой скоростью резания 60 м/мин. При сравнении влияния условий сверления на

износ инструмента было установлено, что использование СОЖ при сверлении со скоростью 20, 42 и 60 м/мин приводит к более низкой скорости износа инструмента на 42 %, 38 % и 30 % соответственно, чем при сверлении без СОЖ, до 50 просверленных отверстий. Таким образом, это исследование показало, что использование СОЖ во время сверления алюминия АК5Мч привело к снижению износа инструмента и увеличению его срока службы [10]. Это, вероятно, связано с эффективностью СОЖ, особенно при низкой скорости резания, для рассеивания выделяемого тепла, что способствует поддержанию прочности инструмента [11].

Однако увеличение скорости резания, как показано на рис. 1, когда использовалась самая высокая скорость резания 60 м/мин, может снизить эффективность СОЖ для отвода тепла и уменьшить износ инструмента [12]. Сверление АК5Мч со скоростью резания 60 м/мин с использованием СОЖ по-прежнему приводило к снижению износа инструмента на 30 % по сравнению со сверлением без СОЖ при аналогичной скорости резания. Таким образом, самая низкая скорость износа инструмента и, следовательно, более длительный срок службы инструмента наблюдались при сверлении АК5Мч со скоростью 20 и 42 м/мин с использованием СОЖ. С учетом производительности, времени сверления и наименьшего износа инструмента для сверл из быстрорежущей стали рекомендуется использовать скорость резания 42 м/мин с СОЖ по сравнению со скоростью резания 20 м/мин. Более высокая скорость резания означает сокращение времени сверления и, следовательно, повышение производительности. Хотя также наблюдался наименьший износ инструмента, использование более низкой скорости резания 20 м/мин требовало большего времени сверления, что вело к снижению производительности.

3. Результаты эксперимента. Анализ ширины корня заусенца отверстия после сверления. Сверление сплава АК5Мч без и с СОЖ на всех скоростях резания дало равномерный заусенец. Твердость материала, пластичность и предел текучести при растяжении являются основными механическими свойствами, определяющими форму заусенца. Равномерный заусенец на отверстиях из алюминия АК5Мч при сверлении, вероятно, связан с высокой пластичностью, прочностью и деформируемостью алюминия АК5Мч.

Толщина заусенца более критична, чем высота заусенца, поскольку она способствует более вы-

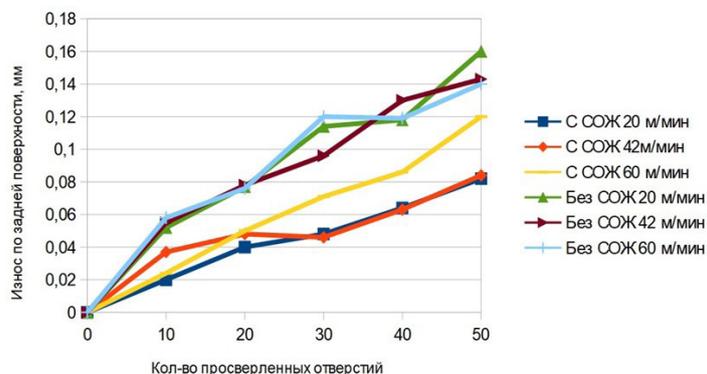


Рис. 1. Значения износа задней поверхности инструмента при сверлении с различными режимами

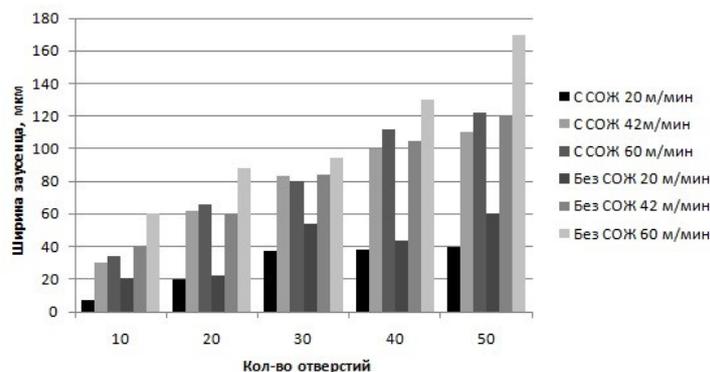


Рис. 2. Значения ширины заусенца на входе в алюминиевую деталь после сверления

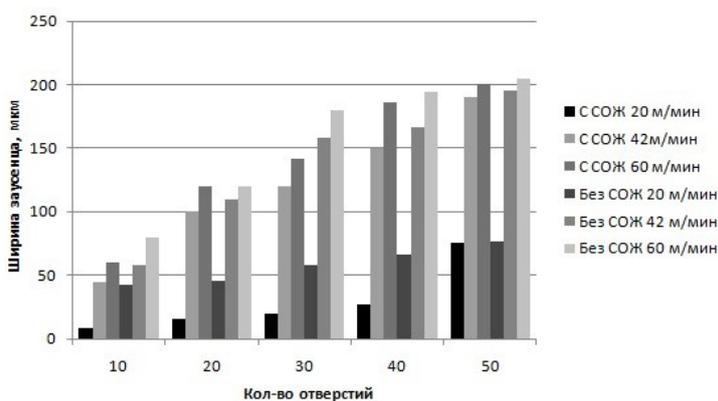


Рис. 3. Значения ширины заусенца на выходе из алюминиевой детали после сверления

соким затратам на удаление заусенцев, чем высота заусенца. Хотя форма заусенца похожа, ширина и высота заусенца различаются в зависимости от скорости резания и используемых условий. Рис. 2 показывает ширину корня заусенца на входе, а рис. 3 показывает ширину корня заусенца на выходе из АК5Мч после сверления. Как правило, увеличение количества отверстий приводило к увеличению ширины корня заусенца как на входе, так и на выходе из просверленных отверстий. Для сравнения, ширина корня заусенца на выходе больше по размеру, чем ширина корня заусенца на входе. Сверление с максимальной скоростью резания 60 м/мин привело к наибольшей ширине корня заусенца, независимо от присутствия СОЖ.

Напротив, сверление с самой низкой скоростью резания 20 м/мин привело к наименьшей ширине корня заусенца. Тенденция образования заусенцев аналогична тенденции износа инструмента, как показано на рис. 1, что указывало на то, что более высокий износ инструмента вызывал большее образование заусенцев. Более высокий износ инструмента указывал на то, что режущая кромка затупилась, что снижает его эффективность при удалении материала во время операции сверления, оставляя заусенцы на краю отверстий. Кроме того, АК5Мч представляет собой пластичный материал, в котором увеличение тепловыделения по мере увеличения скорости резания также увеличивает его способность к пластической деформации, что приводит к образованию заусенцев. Сравнение эффекта обработки при сухом сверлении установило, что использование самой низкой скорости резания

20 м/мин приводит к меньшей ширине корня заусенца на 32–69 % и на 17–68 % на входе и выходе из просверленных отверстий, чем при более высоких скоростях резания. Это указывает на то, что уменьшение скорости резания может уменьшить ширину заусенца.

При сравнении влияния условий сверления использование СОЖ на всех скоростях резания привело к меньшей ширине корня заусенца на 6–19 % и 12–49 % на входе и выходе отверстия соответственно по сравнению со сверлением без использования СОЖ. Как правило, присутствие СОЖ при сверлении АК5Мч способствует уменьшению ширины заусенца на 20 % по сравнению с сухим сверлением.

Анализ высоты заусенцев отверстия после сверления. Рис. 4 показывает высоту входного заусенца, а на рис. 5 показана высота выходного заусенца отверстия, полученного в материале АК5Мч после сверления без использования и с СОЖ. Видно, что заусенец на выходе значительно выше, чем заусенец на входе. При этом видно, что высота входного заусенца минимальна, и существенной разницы не наблюдалось до 50 просверленных отверстий на всех скоростях резания. Износ инструмента при более низких скоростях резания 20 и 42 м/мин не оказывает существенного влияния на высоту выходного заусенца. Тем не менее присутствие СОЖ привело к уменьшению высоты заусенцев в среднем на 10 % по сравнению со сверлением без СОЖ. Тенденция роста с увеличением количества отверстий наблюдалась только при сверлении с максимальной скоростью резания 60 м/мин.

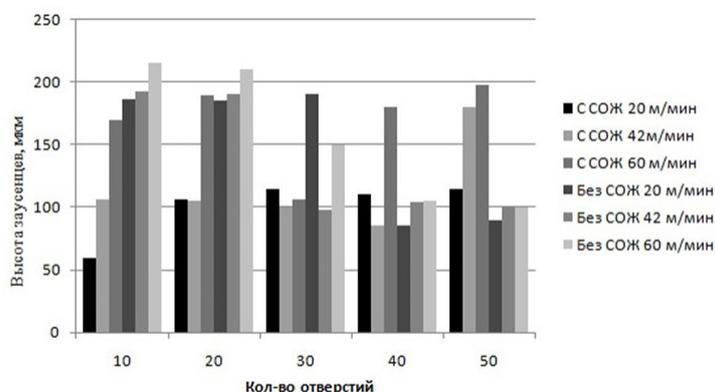


Рис. 4. Значения высоты заусенца на входе в алюминиевую деталь после сверления

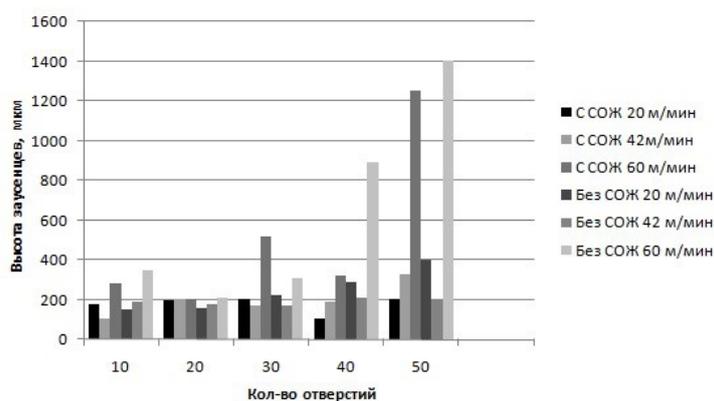


Рис. 5. Значения высоты заусенца на выходе из алюминиевой детали после сверления

Кроме того, наблюдалось, что высота заусенца в три–шесть раз выше, чем при сверлении при более низких скоростях резания 20 и 42 м/мин. Более высокий выходной заусенец, наблюдаемый при сверлении со скоростью резания 60 м/мин, вероятно, связан с более высоким износом инструмента и более высоким выделением тепла, когда шпиндель вращается быстрее, что может повысить пластичность и деформируемость АК5Мч. Для сравнения, на 50-м отверстии высота выходного заусенца наибольшая, 1388 мм в сухом и 1282 мм со сверлением с СОЖ, что в три раза превышает высоту заусенцев, наблюдаемых на 10-м отверстии. Тем не менее было обнаружено, что СОЖ при сверлении приводит к уменьшению высоты заусенцев в среднем на 10 % по сравнению со сверлением без СОЖ со скоростью 60 м/мин.

В этом исследовании сверление с более низкими скоростями резания 20 и 42 м/мин с СОЖ привело к наименьшему образованию заусенцев и наименьшему износу инструмента. Однако использование более высокой скорости резания 42 м/мин выгодно для повышения производительности, поскольку время сверления короче, чем при более низкой скорости резания 20 м/мин. Изготовление отверстий с наименьшими заусенцами имеет решающее значение для сокращения затрат и времени на операции по удалению заусенцев.

Выводы. Сверление сплава АК5Мч без СОЖ при всех скоростях резания 20, 42 и 60 м/мин не привело к существенной разнице в износе ин-

струмента. Однако использование СОЖ вызвало меньший износ инструмента на 42 %, 38 % и 30 % соответственно при скоростях 20, 42 и 60 м/мин по сравнению со сверлением без СОЖ. Таким образом, использование СОЖ и более низкая скорость резания рекомендуются для уменьшения износа по задней поверхности, что продлевает срок службы инструмента. По мере увеличения количества просверливаемых отверстий ширина основания заусенца как на входе, так и на выходе из отверстий, а также высота выходного заусенца имеют тенденцию к увеличению из-за повышенного износа инструмента. Это показывает, что износ инструмента значительно влияет на ширину основания и высоту заусенца.

В среднем при сверлении с СОЖ ширина основания заусенца была на 20 % меньше, а высота заусенца — на 10 % меньше, чем при сверлении без СОЖ для всех скоростей резания. Пластическая деформация материала и образование заусенцев тесно связаны с выделением тепла в процессе сверления.

Более низкие скорости резания 20 и 42 м/мин рекомендуются при сверлении АК5Мч свёрлами из быстрорежущей стали, так как это приводит к наименьшему износу инструмента и наименьшему образованию заусенцев. Однако, когда речь идет о производительности, рекомендуется сверление АК5Мч со скоростью резания 42 м/мин с использованием СОЖ, так как это требует меньшего времени сверления, чем при скорости резания 20 м/мин.

Библиографический список

1. Карлина Ю. И., Журавлев Д. А. Удаление заусенцев с малогабаритных высокоточных деталей для сверхвысокочастотной электроники // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24, № 1. С. 25–35. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-1-25-35.
2. Титов С. Н. Удаление заусенцев с помощью термоимпульсной установки Pulsar TI-576 // Вестник научных конференций: сб. тр. конф. Владимир, 2016. С. 176–177.
3. Кисель А. Г. Подбор эффективной СОЖ для металлообработки // Механика XXI века. 2015. № 14. С. 171-174.
4. Vasil'ev E. V., Makashin D. S., Chernykh I. K. Influence of forms and geometric parameters of sharpening of the chisel edge on the cut chip thickness throughout the cutting edges of a twist drill // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1210. 012157. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012157.
5. Барон Ю. М., Торопов А. А. Модель образования заусенцев на выходе в направлении подачи // Инструмент. 1998. № 1. С. 30–31.
6. Лазарев Д. Е., Насал Т. Г. Диаграмма контроля возникновения заусенцев при сверлении отверстий в деталях из нержавеющей стали // Вестник СГТУ. 2011. № 3 (58). С. 73–76.
7. Банников А. И. Моделирование формирования заусенца при термофрикционном резании в DEFORM 3D // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 14 (193). С. 14–17.
8. Колганова Е. Н., Райа А. В. Современные методы удаления заусенцев с поверхности высокоточных деталей // Перспективные направления развития финишных и виброволновых технологий: сб. тр. конф. Ростов-на-Дону, 2021. С. 288–291.
9. Макашин Д. С. Зависимость вида стружки и качества отверстия, получаемого при сверлении титанового сплава BT-3 // Омский научный вестник. 2011. № 1 (97). С. 51–53.
10. Кирсанов С. В., Гречишников В. А., Схиртладзе А. Г. [и др.]. Повышение эффективности обработки точных отверстий в машиностроении. Москва: Глобус, 2001. 181 с.

11. Назаров С. В. Методы удаления заусенцев на деталях летательных аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. Красноярск, 2020. Т. 1. С. 424–425.

12. Макашин Д. С., Аверков К. В., Кисель А. Г., Ражковский А. А. Зависимость эффективности СОЖ от их физических показателей // Вестник машиностроения. 2018. № 4. С. 41–44.

ЕВДОКИМОВА Ольга Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» машиностроительного института Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 8253-8670

AuthorID (РИНЦ): 762156

AuthorID (SCOPUS): 57200720669

ORCID: 0000-0002-3711-340X

Адрес для переписки: op_kor@mail.ru

МАКАШИН Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» машиностроительного института ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 1763-1883

AuthorID (РИНЦ): 926848

AuthorID (SCOPUS): 57203642272

Адрес для переписки: dima.makashin@gmail.com

Для цитирования

Евдокимова О. П., Макашин Д. С. Анализ влияния режима резания и СОЖ на образование заусенцев при сверлении алюминиевого сплава // Омский научный вестник. 2022. № 4 (184). С. 25–29. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-184-25-29.

Статья поступила в редакцию 09.06.2022 г.

© О. П. Евдокимова, Д. С. Макашин