

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН

К СОСТОЯНИЮ КОНТАКТА РЕЖУЩИЙ
ИНСТРУМЕНТ-ДЕТАЛЬ

Миллионы металлорежущих станков заняты формоизменением деталей машин, придавая заготовкам из различных металлов нужные размеры с высокой степенью точности и с заданной чистотой поверхности. Более чем 80% этих станков работают с металлическим режущим инструментом. Эффективность процесса нужного формообразования в основном зависит от поведения рабочих граней режущего инструмента. За последние сто лет качество режущего инструмента настолько улучшилось, что появилась возможность более чем в 10 раз повысить производительность процесса. И все же вопрос дальнейшего улучшения процесса с точки зрения повышения производительности, качества обработанной поверхности как в смысле чистоты поверхности, так и степени и глубины деформации за линией среза, а также получения экономической точности не только не снят с порядка дня, а наоборот, ставится со все возрастающей остротой. Тысячи исследователей во всем мире и в особенности у нас в Советском Союзе продолжают всесторонние исследования для установления основных закономерностей кинематического и динамического характера. И, пожалуй, нет другой такой отрасли науки, в которой была бы проведена такая масса экспериментов. И все же до сих пор мы не имеем твердых оснований к тому, чтобы сказать, что все теоретические вопросы рационального ведения процесса резания получили свое решение.

Чем же объясняется такое положение? Дело в том, что производительность процесса резания, стойкость режущего инструмента и качество обработанной поверхности предопределяются явлениями на поверхности контакта режущий инструмент—обрабатываемая деталь.

А эти явления чрезвычайно многогранны и зависят от скорости, с которой осуществляется процесс, от геометрических параметров режущего инструмента и его материала, от величины элементов сечения среза, от свойств обрабатываемого материала и других. При этом каждый из влияющих факторов может проявиться в сотнях вариантов. Так, например, количество различных видов обрабатываемых материалов, используемых в машиностроении, исчисляется сотнями. Почти то же самое можно сказать и об остальных влияющих факторах. И что весьма важно—при обработке тех или иных деталей требуются определенные сочетания этих элементов и эти сочетания диктуют

ся комплексом требований, содержание которых меняется в зависимости от эксплуатационных условий, в которых будет находиться машина с данной деталью.

Таким образом, в зоне контакта протекают весьма важные явления, от которых в значительной степени зависит качество обработанной поверхности как в смысле микрорельефа, определяющего величины коэффициентов микроконцентрации напряжений, условия сопряжения деталей между собой при сборке, так и в смысле деформаций по степени и глубине за линией среза, накладывающие определенный отпечаток на долговечность работы деталей и узлов в эксплуатации.

Исходя из этих позиций, представляет значительный интерес рассмотрение вопроса состояния отдельных элементов, участвующих в контакте. Рассмотрим в первую очередь состояние режущего инструмента, рабочие грани которого испытывают значительные напряжения при высокой температуре. Здесь прежде всего необходимо отметить, что вне зависимости от технологического происхождения материала инструмента в нем сосредоточено то или иное количество растворенных газов. При нагреве инструмента под действием деформации впереди лежащего материала с той или иной скоростью, на определенных участках его возникает микровакуум, а потому начинаются явления десорбции. Вместе с тем в зонах, ближайших к контакту, протекают процессы адсорбции, учитывая активность горячего металла инструмента. Конечно, интенсивность этих явлений различна, но почти во всех случаях образуется пленка окислов, роль которой различна. В одних случаях, когда прочность этих пленок высокая, они могут играть защитную от изнашивания роль. Исследования последних лет показывают, что сцепление металлов с щелочными галогенидами определяется сплавом Ван-дер-Ваальса. В других условиях, когда прочность пленок не достаточна и она, разрушаясь под действием значительных давлений, вновь восстанавливается, причем этот процесс, неоднократно повторяясь, уносит с собой частицы металла инструмента, т. е. содействует износу. Необходимо отметить также что наряду с сорбционными процессами в условиях нагревания режущего инструмента происходит увеличение скорости диффузии. Это и понятно, ибо большая часть тепловой энергии, поглощенной металлом инструмента, расходуется на увеличение энергии колебаний атомов. Это меняет и поведение отдельных атомов и их взаимодействие друг с другом и отражается на важных изменениях свойств и поведении кристалла, а следовательно металла инструмента в целом. В результате диффузии возможны полиморфные превращения. Кроме того известно, что при повышенной температуре металла инструмента и неравномерного нагрева появляются вакансии. Чем выше средняя энергия атомов, тем выше число таких несовершенств. Это тем более важно для спеченных металлов, характерных наличием в них не-

плотностей. По современным воззрениям основной механизм диффузии сводится к перемещению вакансий в решетке.

Коэффициент диффузии или мера скорости диффузии определяется из выражения

$$D = Ae^{\frac{Q}{RT}}$$

Здесь A — постоянная, зависящая от состояния материала, Q — энергия активации для диффузии, R — газовая постоянная. Как видно из выражения, A и Q почти не зависят от температуры, R и e — постоянные величины и поэтому небольшие изменения T вызывают значительные изменения коэффициента диффузии D . Отметим, что появление адсорбционной пленки на поверхности инструмента, конечно, в какой-то степени отражается на величине коэффициента A .

Ко всему изложенному нужно добавить еще и то положение, что при нагреве инструмента происходит определенная затрата энергии на выход металла. Р. Фуллер предлагает следующее выражение для зависимости квантового выхода:

$$\ln \frac{Q}{Y} = F(x) + B; \quad x = \frac{h}{kT}$$

Здесь T — абсолютная температура поверхности, h — постоянная Планка, k — постоянная Стефана-Больцмана, $F(x)$ так называемая кривая Фуллера, форма которой одинакова для всех металлов, постоянная B — определяется числом центров эмиссии электронов. Вполне понятно, что наличие или отсутствие пленок на поверхности инструмента несколько отражается на форме кривой Фуллера. Но высокая температура сама непосредственно может привести к распаду карбидов вольфрама или титана при переходе определенной критической точки, несколько заниженной, вследствие высокого давления, которое испытывает режущий инструмент.

Но если допустить, что адсорбционной пленки на поверхности контакта инструмент — обрабатываемый металл нет, то на этой поверхности возникают адгезионные силы. В результате их возникновения появляется схватывание между контактирующими металлами в виде застойной зоны, называемой на практике наростом. Эти явления, действительно, имеют место, когда температура на поверхности контакта не достигает определенной величины. Эта зона скоростей не выгодна для формируемой поверхности обрабатываемой детали.

Следующее явление, представляющее очень большой интерес, заключается в следующем. Под действием трения между рабочими гранями инструмента, отделяемой стружкой и поверхностью резания, возникают автоколебания. Кроме них, учитывая, что нагрузка на режущий инструмент часто носит не стабильный характер, возникают дополнительные вибрации с частотой, отличной от частот собственных колебаний инструмента. Образование и срыв нароста в той зоне скоростей резания, которая этим явлением характерна, также накладывает. 2. ТН, № 6

ваются на режущий инструмент определенным образом. Наконец, упругие колебания обрабатываемой детали, возникающие под действием радиальной составляющей усилия резания и наличия дебаланса в природе станка, складываются, отражаясь и накладываясь на зону контакта. Таким образом, режущий инструмент находится в вибрационном состоянии. При этом, так как источники вибрации совершенно разные, то они имеют место почти на всем скоростном диапазоне, но с различной характеристикой. Исследования показали, что частота колебаний колеблется в широких пределах, а в отдельных случаях доходят до 6-7 тысяч герц. Вполне понятно, что такое колебательное состояние режущего инструмента под огромной нагрузкой довольно быстро приводит к усталости. Последствия этого легко обнаруживаются на режущей кромке инструмента. Частицы, откладываемые на лезвиях инструмента, имеют усталостный характер.

Следовательно, на поверхности контакта, действительно, протекают весьма сложные физико-химические явления, многогранно отражающиеся на состоянии режущего инструмента, ускоряющие его изнашивание. Поскольку одним из главных факторов, способных менять направление и интенсивность протекающих явлений, отмеченных выше, является температура на поверхности контакта, а эта последняя в свою очередь зависит в основном от скорости резания, практически связывают скорость резания со стойкостью ε . Эта связь, выраженная уравнением неравнобокой гиперболы, носит весьма примитивный характер

$$v = \frac{C}{\varepsilon^m}$$

С другой стороны

$$T = C_1 \sqrt{v}$$

подставляя, получаем связь между стойкостью и температурой.

$$\varepsilon = \sqrt[m]{\frac{CC_1^2}{T^2}} \text{ мин.}$$

Мы рассмотрели лишь направление влияния явлений, протекающих на поверхности контакта на состояние режущего инструмента, как одного из элементов, участвующих в процессе резания.

Еще более важное значение имеет оценка состояния обрабатываемого металла в контактной зоне

Вторым, пожалуй, более важным элементом, участвующим в процессе резания, является сама деталь. И если состояние рабочих граней режущего инструмента нас тревожит из-за высокой доли его участия в себестоимости изделия, то явления, протекающие в прирезонной зоне, непосредственно отражаются на точности и качестве поверхности этой обрабатываемой детали. Конечно, степень этого отражения зависит в первую очередь от свойств обрабатываемого металла.

Дело в том, что при формировании поверхности детали, то есть в процессе ее образования при стабильной и острой геометрии инструмента в результате сочетательного движения детали и инструмента на поверхности детали, образуется шероховатость, как результат остаточных срезов. Но при различном состоянии предрезцово́й зоны и в частности в зависимости от степени деформации ее, высота гребешков этой шероховатости изменяются в довольно широких пределах. Как известно, при этом фактическая поверхность во много раз превышает видимую, появляются микроконцентрации напряжений при нагружении детали с такой поверхностью, ухудшаются условия сопряжения этой детали с другими. Все это отражается на работоспособности и долговечности детали, а вместе с тем машины в целом. Степень деформации предрезцово́й зоны является функцией скорости резания, геометрии инструмента, степени его остроты и, конечно, свойств металла. В частности, с увеличением скорости деформирования высота гребешков в начале снижается, затем резко возрастает в зоне так называемого наростообразования, а в дальнейшем монотонно снижается. При этом резкое ухудшение качества поверхности при использовании скоростей резания, характерных наростом, объясняется и тем, что частицы срывающегося нароста впиваются в обрабатываемую поверхность. Если скорость резания обозначить через v , а скорость распространения пластических деформаций, определяемой из выражения

$$v_n = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

в котором M означает модуль пластичности, ρ — плотность деформированного металла, то очевидно, что степень деформации Δ зависит от отношения этих скоростей

$$\frac{v}{v_n} = u.$$

С увеличением этого отношения сокращается фактор времени, пластические деформации не успевают завершиться и поэтому деформированная часть стружки не налагается на остаточные сечения среза и высота гребешков не превышает геометрических значений. Тут определенную роль играет и геометрия инструмента в части распределения сил стружкообразования. Это и понятно, поскольку процесс резания является процессом пластического сжатия и сдвига. Наменение скорости деформирования отражается и на количестве сдвигов и величине скольжения элементов по плоскостям. В частности при работе с увеличенными скоростями число отдельных элементов растет на единице длины стружки, а их взаимное перемещение уменьшается. Роль дислокации при этом велика, возможно появление слоя Бельби. Вполне закономерно ожидать, что при работе со скоростями

виду незавершенности пластических деформаций в зоне стружкообразования, усилия и работа резания соответственно снижаются, то есть энергоемкость процесса снижается со всеми вытекающими отсюда обстоятельствами.

По существу вопросы чистоты поверхности являются не самыми важными, поскольку в дальнейшем путем использования современных финишных операций можно степень чистоты поверхности значительно повысить и выполнить предъявляемые к поверхности требования.

Гораздо сложнее обстоит дело с деформацией слоя за линией среза. Конечно, значительные пластические деформации, развиваемые в предрезиковой зоне, проникают и за линии среза. Исследования показывают наличие корреляции между степенью деформации стружки и степенью деформации слоя за линией среза. Основными влияющими факторами на глубину и степень развития деформации являются: скорость резания, геометрия инструмента и величины элементов среза.

С точки зрения изменения физико-механических свойств металла в слое за линией среза происходит следующее: значительно повышается микротвердость, увеличивается плотность дислокаций, уменьшается соответственно вязкость. По мере углубления в слой от поверхности микротвердость, постепенно снижаясь, доходит до микротвердости исходного недеформированного металла. Далее здесь имеет место появление остаточных напряжений, образуется сетка микротрещин, при этом меняются теплопроводность и показатели электропроводности. Вполне понятно, что степень развития тех или иных свойств в значительной мере зависит от качества металла. Путем рекристаллизации в какой-то мере можно восстановить в этом поверхностном слое первоначальную характеристику. Если деталь с такой оценкой поверхности конструктором была рассчитана на прочность без учета изменений свойств слоя, то очевидно, что в эксплуатации поведение детали себя не оправдает.

В свете изложенного, естественно возникает вопрос, а существуют ли методы борьбы со всеми нежелательными явлениями? Безусловно, по некоторым из них имеются глубокие разработки, некоторые мероприятия широко внедрены, но в целом все еще имеет место отставание. Так, например, если порошки карбидов вольфрама и титана в процессе прессования подвергнуть ультразвуковой обработке, то в результате уменьшения коэффициента трения можно удельные силы прессования увеличить и получить плотность пластинки, приближающейся к плотности литого металла. Последующей обработкой спеченной твердосплавной пластины в ультразвуковом поле в восстановительной среде можно добиться пассивации металла, освобождаящей от адсорбции при последующем нагревании и процессе резания.

Путем ликвидации дебалансов в станке и применения демпферов и увеличения жесткости станка можно в значительной степени изба-

вить инструмент от вибрационного усталостного изнашивания и т. д. Задача сводится к необходимости настойчивого внедрения достигнутых результатов и более углубленного изучения процессов на современном уровне.

Поступило 4.XI.1967

И. Д. ГАВРИЛ

ԿՏՐՈՂ ԿՈՐԾԻՔ-ԴԵՏԱԿ ԿՈՆՏԱԿՏԻ ՎԻՃԱԿԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Կտրող գործիք-մշակվող մետաղ կոնտակտի մակերևույթի վրա տեղի են ունենում շատ բարդ ֆիզիկա-քիմիական երևույթներ՝ ադսորբցիա, դիֆուզիա, ստրուկտուրային փոխակերպումներ, հողնածային ամրության իջեցում: Կրանք բազմակողմանիորեն են անդրադառնում կտրող գործիքի վիճակի վրա՝ արագացնելով նրա մաշումը: Այդ անցանկալի երևույթների դեմ պայքարելու գործում թեև գոյություն ունեն մի շարք խորը մշակումներ, սակայն, ամբողջությամբ վերջված, դեռևս կա որոշ ևսամացում:

Ելնելով այդ երևույթների զերուծությունից, հողվածում նշվում են գորանց դեմ պայքարելու ուղիներն ու մեթոդները: Մասնավորապես շեշտվում է ևսակալված կարծր միահալվածքային շերտիկները դերձայնային գաշտում մշակելու, հաստացում դերալանսը վերացնելու և դեմպֆերներ կիրառելու նրպատակահարմարությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Каминский А. Атомные и ионные столкновения на поверхности металла. М., 1967.
2. Кинел Г. (ред.) Сорбционные процессы в вакууме. М., 1966.
3. Смит М. Основы физики металлов. М., 1962.
4. Русанова А. Фазовые равновесия и поверхностные явления. М., 1967.
5. Касьян А., Маркрян Г. Высокое качество поверхности — основа повышения издежности. Ереван, 1966.
6. Волощенко-Климовицкий Ю. Динамический предел текучести. М., 1965.
7. Гольдсмит В. М. Удар. М., 1965.