

КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ
ПОВЕРХНОСТИ И МЕТОДЫ ЕЕ УЛУЧШЕНИЯ

УДК 621.7.01:539.319:539.373

А.И. Промптов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ
И ДЕФОРМАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ
И СТРОГАНИИ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

В последние годы в ряде отраслей машиностроения, когда необходима устойчивость узла или агрегата обеспечивается при соединении ряда деталей в одну систему, широко используются мало жесткие детали. Очевидно, что требуется достаточно высокая точность формы таких деталей, обеспечивающая возможность их сборки без создания дополнительных напряжений. В этих условиях приобретают существенное значение остаточные деформации изгиба и закручивания, возникающие при односторонней обработке.

Появление деформации изгиба и закручивания (как и остаточных напряжений) обусловлено неоднородной пластической деформацией создающегося в результате обработки поверхностного слоя. Происходящее при удалении внешних сил (резания и зажима) перераспределение начальных напряжений, вызываемых неоднородной пластической деформацией, приводит к деформированию изделия с образованием уравновешенной эпюры остаточных напряжений. При одностороннем (смещенном) положении пластически деформированного слоя относительно нейтральной оси детали уравновешивание по изгибающему и крутящему моментам становится причиной появления соответственно деформаций изгиба и закручивания наряду с формированием нормальных и касательных остаточных напряжений.

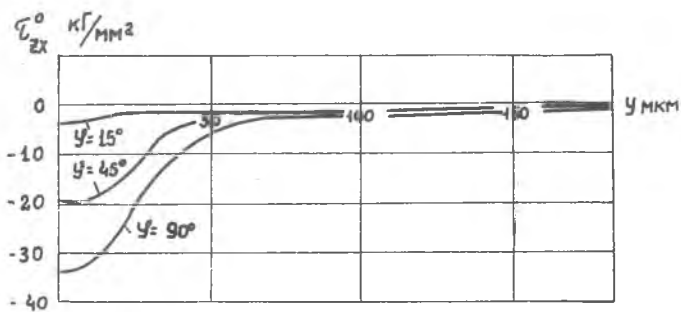
С целью совместного изучения остаточных напряжений и деформаций, образующихся при односторонней обработке, были проведены исследования стали X18NiOT при фрезеровании, строгании и при

фрезеровании титанового сплава ОТ4-Г. Остаточные напряжения определялись механическим методом с использованием установки конструкции Б.А. Кравченко [1]. Расчеты напряжений производились на ЭВМ БЭСМ-4 по формулам И.А. Биргера и С.И. Иванова [2], [3]. Остаточные деформации измерялись на приспособлении с микронным индикатором.

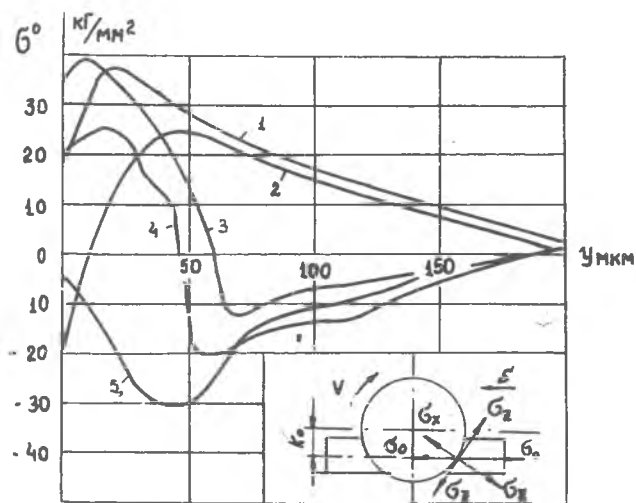
Результаты опытов показали, что при строгании стали X18H9OT образуются тангенциальные остаточные напряжения σ_x^0 растяжения и осевые σ_z^0 - сжатия. Для титанового сплава характерны отрицательные значения обеих компонент, т.е. при строгании наблюдается та же закономерность, что и при точении. Следует полагать, что и причины, вызывающие такое обстоятельство, в силу подобия схем резания остаются теми же - это наличие пластической деформации сжатия в направлении вектора скорости и деформации растяжения по вектору подачи как результат сливного стружкообразования в первом случае и создание деформаций растяжения в обоих направлениях в связи с элементарным стружкообразованием - во втором [4]. Вполне естественно и то, что зависимости остаточных напряжений от таких параметров обработки, как передний угол, подача, скорость резания при точении и строгании подобны.

Рассмотрим влияние на остаточные напряжения углов в плане φ и φ_1 . С увеличением этих углов значительно возрастают и тангенциальная, и осевая компоненты нормальных напряжений вследствие изменения ориентации зоны стружкообразования относительно обработанной поверхности и осложнения процесса резания из-за уменьшения угла при вершине. С увеличением главного угла в плане φ отмечается и наиболее заметный рост касательных остаточных напряжений в направлениях формообразующих движений (рис.1), что объясняется увеличением угла отклонения главных осей остаточного напряженного состояния от векторов скорости резания и подачи [5].

На остаточные напряжения в продольном направлении (в направлении подачи) σ_z^0 основное влияние оказывает вид фрезерования. При цилиндрическом попутном фрезеровании они являются растягивающими, при торцевом симметричном - сжимающими (рис.2). Обусловлено это тем, что при цилиндрическом фрезеровании σ_z^0 определяется как σ_x^0 , так как вектор скорости резания составляет сравнительно малый угол с продольной осью изделия. В то же время при обработке сталей, как это было показано применительно к стро-



Р и с.1. Влияние главного угла в плане на касательные остаточные напряжения: строгание титанового сплава ОТ4-1. $\delta = +10^\circ$; $\lambda = 0$; $r = 0,5$ мм; $v = 9$ м/мин; $S = 0,3$ мм/дв.ход; $t = 0,5$ мм



Р и с.2. Влияние вида фрезерования на нормальные остаточные напряжения в направлении подачи: обрабатываемый материал - сталь Х18Н10Т; $v = 103$ м/мин; $t(B) = 1$ мм; $S_z = 0,16$ мм/зуб; 1 - цилиндрическое попутное фрезерование; 2 - цилиндрическое встречное фрезерование; 3-5 - торцевое фрезерование 3- $K_0 = 24$ мм; 4- $K_0 = 12$ мм; 5- $K_0 = 0$

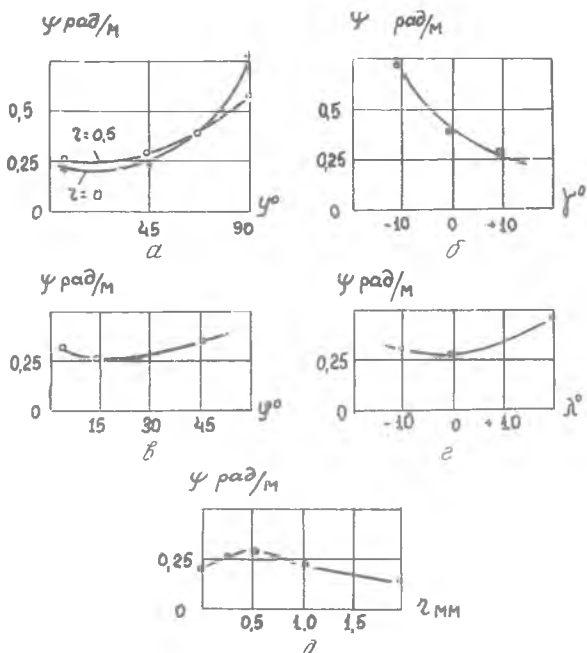
ганию; ϵ_z^0 имеет положительный знак. Меньшие по величине остаточные напряжения при встречном фрезеровании (чем при попутном) можно объяснить тем, что проскальзывание зуба при врезании в случае встречного фрезерования, увеличивая действующие радиальные напряжения, приводит к уменьшению остаточных напряжений в продольном направлении. Как следствие затрудненных условий врезания зуба необходимо рассматривать и образование при встречном фрезеровании значительных сжимающих напряжений в приповерхностном слое.

При торцевом симметричном фрезеровании компонента ϵ_x^0 соответствует ϵ_x^0 , следовательно, она также имеет отрицательный знак. Характерно, что при смещении оси фрезы относительно оси изделия остаточные напряжения ϵ_x^0 (в случае фрезерования сталей) переходят из области отрицательных в область положительных значений по мере того, как в них увеличивается удельный вес составляющей ϵ_z^0 , направленной по вектору скорости, и уменьшается удельный вес нормальной ей составляющей ϵ_x^0 . Особенно ярко это проявляется в том случае, когда смещение оси фрезы относительно оси изделия приводит к попутной схеме фрезерования и появлению растягивающих остаточных напряжений не препятствует ухудшение условий врезания (см. рис. 2, кривые 4, 5).

Изменение остаточных деформаций в зависимости от условий обработки согласуется с происходящим при этом изменением соответствующих компонент остаточных напряжений. Так, при увеличении главного угла в плане в соответствии с ростом остаточных касательных напряжений возрастает и остаточная деформация закручивания (рис. 3а). Так же с изменением уровня остаточных касательных напряжений изменяется угол закручивания в зависимости от переднего угла, угла наклона главной режущей кромки, вспомогательного угла в плане и радиуса резца при вершине (рис. 3б, в, г, д).

Остаточная деформация изгиба, имеющая при цилиндрическом фрезеровании положительное значение, возрастает при увеличении как скорости резания, так и подачи (рис. 4а, б). Как известно, аналогично изменяются и остаточные напряжения. Вполне закономерно и возникновение меньших деформаций при встречном фрезеровании, чем при попутном.

К росту остаточной деформации изгиба приводит увеличение скорости резания и при торцевом фрезеровании, но только в области

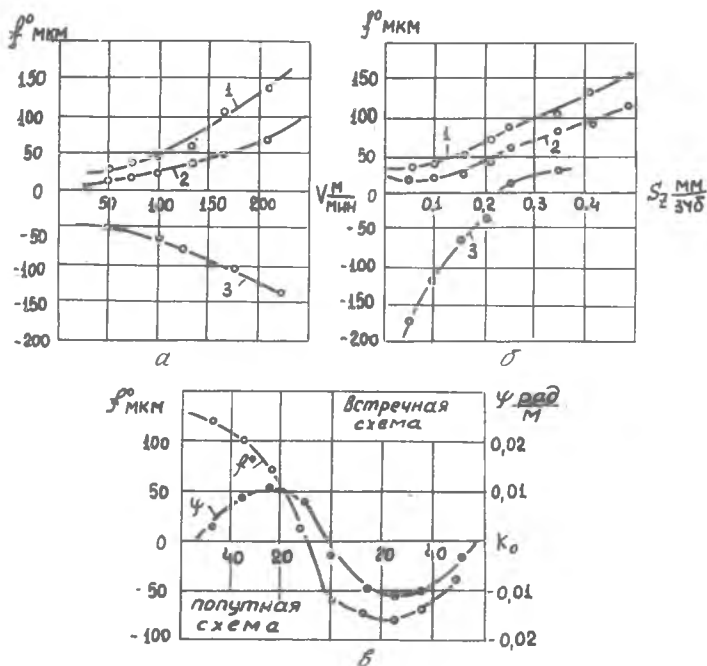


Р и с.3. Влияние геометрических параметров инструмента на остаточную деформацию закручивания (угол закручивания): строгание стали Х18Н10Т; $v = 9$ м/мин; $S = 0,3$ мм/дв.ход; $t = 10$ мм

отрицательных значений, что соответствует образованию остаточных напряжений сжатия. В зависимости от подачи остаточный прогиб, имея вначале отрицательные значения, постепенно уменьшается и становится положительным.

Представляет интерес изучение влияния взаимного расположения фрезы и изделия на остаточные деформации при торцевом фрезеровании. Как следует из рис.4в, по мере смещения оси фрезы при попутном фрезеровании остаточный прогиб быстро приобретает положительное значение и далее непрерывно возрастает. Для встречной схемы характерно сохранение отрицательных прогибов, которые вначале даже несколько увеличиваются и только при больших смещениях снижаются, приближаясь к нулю.

Эти зависимости, как и зависимости остаточных напряжений от направления и величины смещения фрезы, следует рассматривать как результат изменения ориентации вектора скорости относительно оси образца и изменения условий врезания зуба.



Р и с. 4. Влияние скорости резания, подачи и смещения оси фрезы относительно оси образца при торцевом фрезеровании на остаточные деформации: обрабатываемый материал - сталь X18H10T; $v = 103$ м/мин; $S_z = 0,16$ мм/зуб; $t(B) = 1$ мм; 1 - цилиндрическое попутное фрезерование; 2 - цилиндрическое встречное фрезерование, 3 - торцевое фрезерование

От смещения изменяется и угол закручивания. Наибольшей величины он достигает при средних значениях смещения, т.е. когда главные оси составляют с осью образца углы, близкие к оси образца а касательные напряжения подходят к осевому максимуму.

В ы в о д ы

1. Полученные результаты указывают на возможность регулирования остаточных деформаций после фрезерования и строгания маложестких деталей.

2. Выбор вида и направления обработки - важный фактор регулирования остаточных деформаций.

3. Торцевое фрезерование имеет преимущества перед цилиндрическим. При цилиндрическом фрезеровании с увеличением подачи остаточная деформация непрерывно растет, при торцевом фрезеровании можно выделить диапазон подач, при которых остаточные прогибы получаются минимальными.

4. Уменьшение остаточных деформаций изгиба и закручивания можно достичь при торцевом фрезеровании за счет установки фрезы относительно изделия.

5. Наименьшие остаточные деформации возникают при симметричном фрезеровании или фрезеровании по встречной схеме.

Л и т е р а т у р а

1. К р а в ч е н к о Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов. Куйбышевское книжное издательство, 1962.

2. Б и р г е р И.А. Остаточные напряжения. М., Машгиз, 1963.

3. И в а н о в С.И. Определение остаточных напряжений в пластинках методом полосок. Труды КуАИ, вып. 48, 1971.

4. К р а в ч е н к о Б.А. и др. Повышение выносливости и надежности деталей машин и механизмов. Куйбышевское книжное издательство, 1966.

5. П р о м п т о в А.И., З а м а щ и к о в Ю.А. Об ориентации главных осей остаточных напряжений, образующихся при обработке резанием. В сб.: " Исследование металлорежущих станков и процесса резания металлов". Иркутск, 1973.