

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Н. Афонин

ФГБОУ ВПО «Государственный университет-УНПК», г. Орел, Россия

Винтовые поверхности находят широкое применение в современном машиностроении. В частности, наиболее распространенным примером винтовых поверхностей являются резьбы. Известно, что наиболее перспективными способами формообразования и упрочнения винтовых поверхностей являются способы обработки пластическим деформированием – накатыванием. Накатывание обеспечивает значительное повышение статической и, в особенности, усталостной прочности формируемой винтовой поверхности. Однако, оно имеет ряд недостатков, в частности достаточно жесткие ограничения по размерам винтовой поверхности и механическим свойствам обрабатываемого материала.

Расширить область применения накатывания винтовых поверхностей можно с помощью комбинированной режущо-деформирующей обработки (накатывания винтовых поверхностей по предварительно нарезанному профилю). Срезание части припуска позволяет уменьшить степень деформации при последующем накатывании. Винтовые поверхности с большим шагом и винтовые поверхности на деталях твердостью более HRC 50 целесообразно получать обработкой резанием (например вихревой обработкой) с последующим упрочнением поверхностным пластическим деформированием (ППД). Однако, применение комбинированной режущо-деформирующей обработки винтовых поверхностей сдерживается ее недостаточной изученностью. В частности отсутствуют научно обоснованные рекомендации по выбору схемы деформирования и распределения припуска, т.е. глубины предварительно нарезанной винтовой канавки.

Рассмотрим методику выбора рациональных параметров режущо-деформирующего формообразования винтовых поверхностей на примере накатывания резьб. При комбинированной обработке резьб могут быть реализованы различные схемы деформирования. Классификация схем деформирования при режущо-деформирующей обработке резьб в зависимости от формы предварительно нарезанной винтовой канавки [2] приведена на рис. 1.

Решение задачи о выборе схемы деформирования и припуска под накатывание требует исследования полей напряжений и деформаций в инструменте и заготовке. Поскольку при накатывании винтовых поверхностей имеет место сложное объемное напряженно-деформированное состояние, подобные исследования могут быть произведены только с помощью современных численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ). Для определения необходимой схемы деформирования и глубины предварительно нарезанной винтовой канавки проведено моделирование процесса режущо-деформирующей обработки винтовых поверхностей с помощью МКЭ в системе [DEFORM](#).

Применение МКЭ требует корректной постановки граничных и начальных условий и тщательной проработки методики моделирования [1]. Для упрощения расчетов резьбу целесообразно представить в виде двух кольцевых канавок. Для сокращения потребного количества конечных элементов и, следовательно, времени расчета, моделирование целесообразно производить лишь для одной четверти заготовки. На месте удаленных частей заготовки прикладываются компенсирующие их граничные условия: запрет на перемещения по оси, перпендикулярной к плоскости разреза.

При моделировании накатывания резьбы за несколько проходов учитывалась технологическая наследственность после каждого прохода. В ходе предварительных исследований было установлено, что технологическая наследственность после предварительного нарезания канавки не оказывает существенного влияния на результаты моделирования и может не учитываться [3].

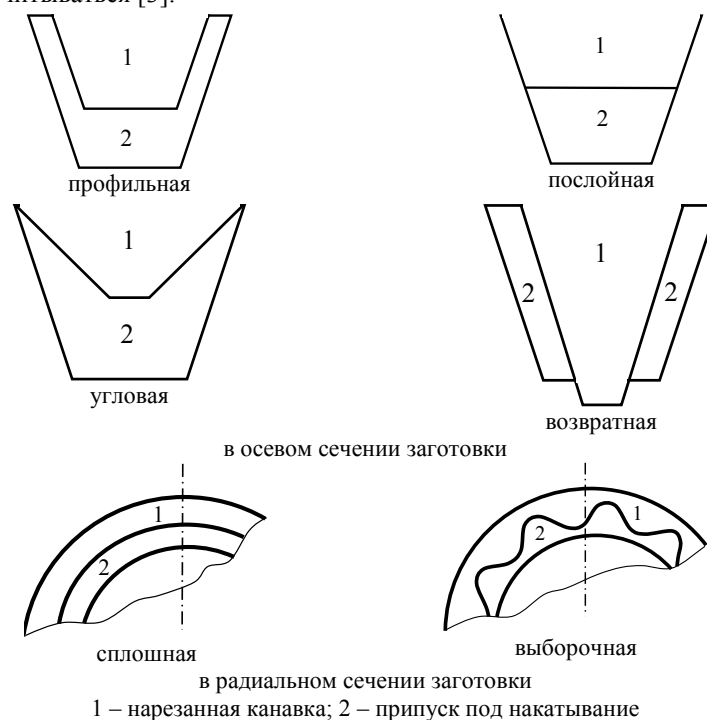


Рис.1 Схемы деформирования при комбинированной режущо-деформирующей обработке резьб

Заготовка для ускорения времени расчета принимается жестко-пластичной. Инструмент при расчете полей напряжений и деформаций в заготовке принимается идеально жестким. Подобные упрощения не вносят существенной погрешности в результаты расчета.

Механические свойства материала заготовки и инструмента задаются путем выбора соответствующей стали из имеющихся в программном комплексе библиотек материалов. Для исследования были выбраны сталь 45, являющаяся одним из наиболее распространенных машиностроительных материалов и служащая своеобразным эталоном в машиностроении. В качестве критерия разрушения материала принят нормализованный критерий разрушения Кокрофта – Лейтема.

Значения эквивалентных деформаций позволяют судить о степени упрочнения накатываемой резьбы [4]. Полученные в результате вычислительного эксперимента поля эквивалентных деформаций в заготовках для различных схем деформирования приведены на рис. 2.

Результаты вычислительного эксперимента с удовлетворительной точностью совпадают с результатами накатывания резьбы экспериментальной резьбонакатной головкой [2].

Из приведенных слайдов можно сделать вывод о том, что наибольшее упрочнение обеспечивают послонная и угловая схема. Наименьшее - возвратная. Выборочная схема позволяет получить неравномерно упрочненный гетерогенный поверхностный слой витков резьбы. Гетерогенный характер упрочнения способствует повышению усталостной прочности за счет торможения усталостных трещин в менее твердых, но более вязких участках.

На основе анализа результатов вычислительного эксперимента получены регрессионные зависимости сил деформирования и максимального значения нормализованного критерия разрушения Кокрофта – Лейтема от параметров процесса режуще-деформирующей обработки резьб [2].

Исходя из критического значения нормализованного критерия разрушения Кокрофта – Лейтема (для сталей 0,65) с помощью данных зависимостей можно определить максимально допустимые значения накопленного радиального обжатия (глубины внедрения накатного инструмента в заготовку), и, следовательно, требуемую глубину предварительно нарезанной винтовой канавки, в зависимости, например, от шага накатываемой резьбы и диаметра заготовки (рис. 3). При накатывании термически упрочненных винтовых поверхностей объем прорезанной канавки должен увеличиваться пропорционально увеличению твердости материала заготовки.

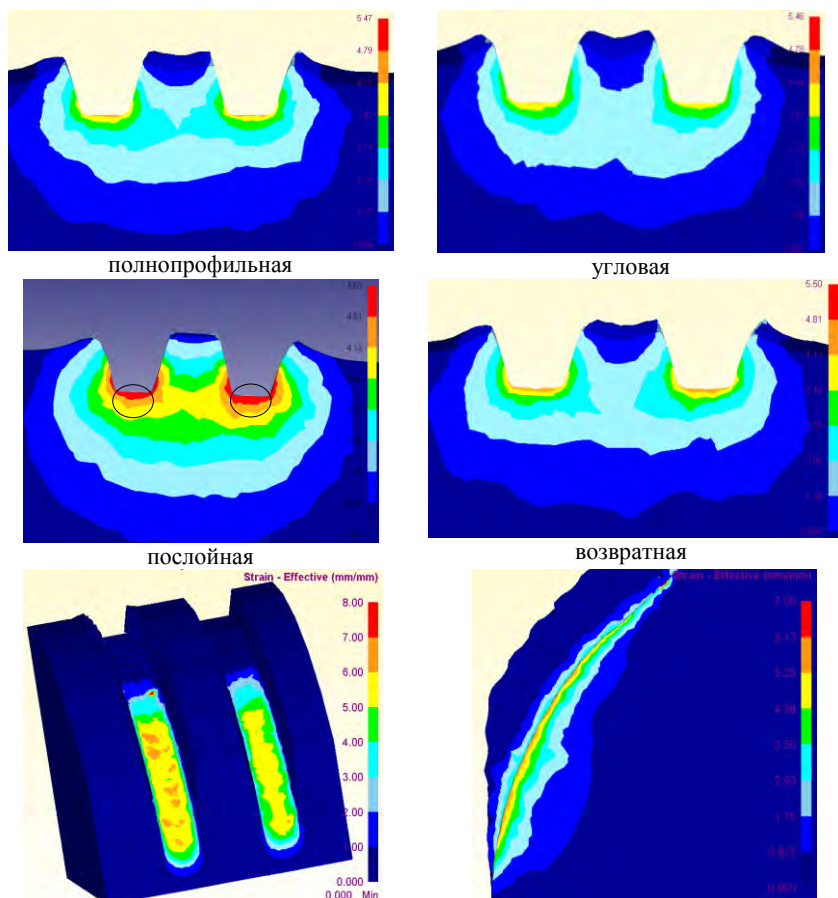


Рис.2 Эквивалентные деформации при режуще-деформирующей обработке резьбы Tr28x6 с различными схемами деформирования

Угол профиля (радиус) предварительно прорезанной винтовой канавки должен зависеть от механических свойств материала заготовки: чем выше твердость и прочность заготовки, тем меньше должен быть угол профиля (радиус) предварительно нарезанной канавки и наоборот. Однако, если угол профиля предварительно нарезанной канавки меньше угла профиля накатываемой резьбы более чем на 10° , это может привести к образованию на боковых сторонах накатываемого резьбового профиля складок – закатов.

Полученные рекомендации позволяют проектировать рациональную технологию режуще-деформирующей обработки винтовых поверхностей. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-01-97508.

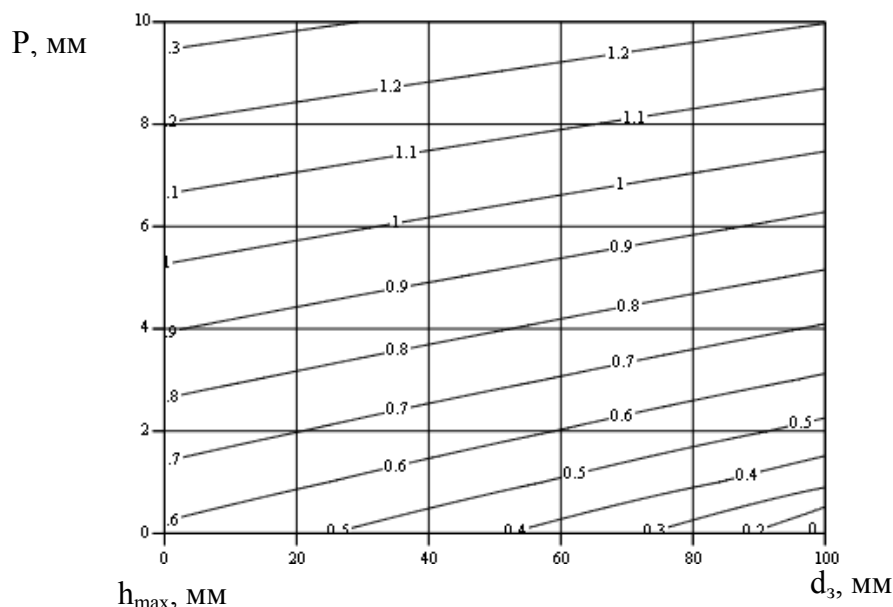


Рис.3 Максимально допустимые значения накопленного радиального обжата при накатывании треугольных резб с углом профиля 30° на заготовках из стали 45

Список литературы

1. Киричек А.В., Афонин А.Н. Исследование напряженно деформированного состояния резбонакатного инструмента и заготовки методом конечных элементов // СТИН. 2007, №7. – С. 21-25.
2. Киричек А.В., Афонин А.Н. Прогрессивные технологии упрочнения и формообразования резб накатыванием // Научно-технические технологии в машиностроении, 2011, №3(03). – С. 3-7.
3. Афонин А.Н. Моделирование нарезания резб в системе DEFORM // Труды Всероссийской научно-практ. конф. «Инженерные системы – 2008», М.: РУДН, 2008. – С. 153 – 156.
4. Афонин А.Н. Оценка упрочнения резбы по результатам компьютерного моделирования резбонакатывания // Труды междунар. научно-практ. конф. «Инженерные системы – 2011», М.: РУДН, 2011. – С. 126 – 129.