УДК 621.787 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-145-147

ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАТЯГА НА ГЛУБИНУ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ДОРНОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Лэ Т.Л.[1], Нгуен К.Т.[1], Нгьем М.Д.[1], Чан Т.З.[2]
[1]Институт им. Нго Куен, Хошимин, Вьетнам;
[2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск

Ключевые слова: дорн, дорнование, поверхностная пластическая деформация, трубчатые детали, деформация, натяг.
Аннотация. В статье основное внимание уделено исследованию влияния натяга i на глубину пластической деформации по толщине стенки трубчатой детали. С использованием метода численного моделирования в среде ANSYS Mechanical исследован процесс дорнования трубчатых деталей из стали 45 при малом натяге $i = 0{,}1$ мм ($i/d_з = 0{,}33\%$) и большом натяге $i = 0{,}4$ мм ($i/d_з = 1{,}33\%$). Полученные результаты показывают, что величина натяга оказывает непосредственное влияние на глубину пластической деформации. На основании этого сделаны выводы о рациональном выборе величины натяга i при дорновании трубчатых деталей на практике.

EFFECT OF INTERFERENCE MAGNITUDE ON RELATIVE STRAIN INTENSITY DURING BURNISHING OF TUBULAR PARTS

Le T.L.[1], Nguyen Q.T.[1], Nghiem M.D.[1], Tran T.D.[2]
[1]Ngo Quyen University, Ho Chi Minh City, Vietnam;
[2]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

Keywords: mandrel, burnishing, surface plastic deformation, tubular parts, deformation, interference.
Abstract. The article focuses on investigating the effect of interference i on the depth of plastic deformation across the wall thickness of a tubular part. Using numerical simulation in the ANSYS Mechanical environment, the burnishing process of Steel 45 tubular parts was studied at a small interference of $i = 0.1$ mm ($i/d_z = 0.33\%$) and a large interference of $i = 0.4$ mm ($i/d_z = 1.33\%$). The obtained results demonstrate that the interference magnitude directly affects the depth of plastic deformation. Based on these findings, conclusions are drawn regarding the rational selection of the interference magnitude i for the burnishing of tubular parts in practice.

Введение. Механическая обработка внутренних поверхностей цилиндрических деталей резаниям по сравнению с обработкой наружных поверхностей является технологически более сложным и трудоемким процессом. Особенно заметно это отличие проявляется при обработке длинномерных трубчатых деталей повышенной точности. Кроме того, процессы точения и шлифования не позволяют достичь высоких механических и эксплуатационных требований к качеству поверхностного слоя деталей машин [1, 2].

В качестве отделочно-упрочняющих и калибрующих операций достаточно широко зарекомендовали себя процессы дорнования отверстий [3, 4], которые позволяют не только обеспечить заданную точность и стабильность диаметрального размера, но и сформировать упрочненный слой с остаточными напряжениями сжатия. При дорновании величина натяга i является одним из наиболее основных факторов, влияющих на интенсивность остаточных деформации и качество обработанных трубчатых деталей в целом.

Методика исследования. При выполнении имитационного анализа в программе Ansys необходимо построить конечно-элементную сетку для моделей. Рисунок 1 иллюстрирует результаты разбиения модели на сетку конечно-элементных элементов в среде Ansys Static Structural.

Для комплексной оценки влияния величины натяга i на глубину пластической деформации h по толщине стенки трубчатой детали рассмотрено два случая дорнования с малым и большим натягами. В настоящем исследовании малый натяг составляет i = 0,1 мм (относительный натяг $i/d_з$ = 0,33%), а большой натяг i = 0,4 мм ($i/d_з$ = 1,33%).

Геометрические параметры заготовки и расчетные граничные условия представлены в таблице 1.

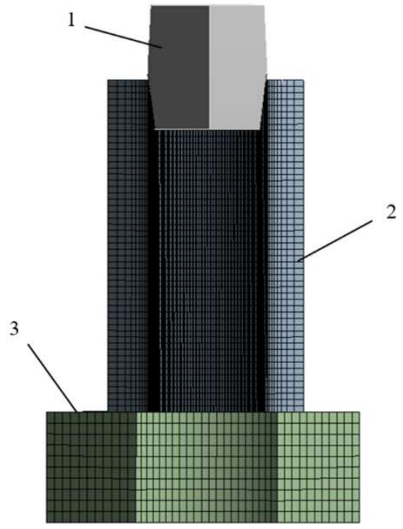


Рис.1. Конечно-элементные сетки образцов при моделировании процесса дорнования: 1 – инструмент; 2 – трубчатая заготовка; 3 – опора

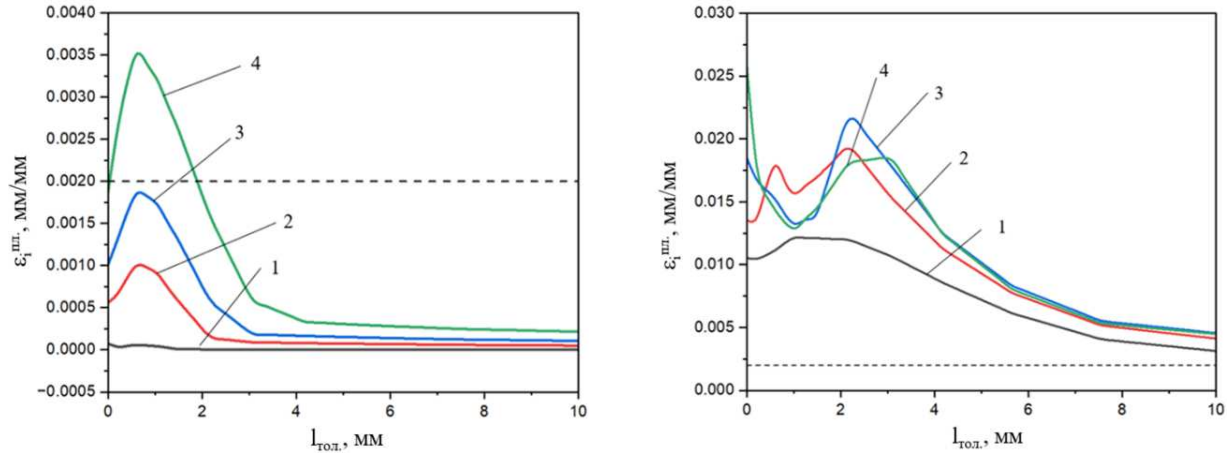
Табл. 1. Геометрические параметры заготовки и расчетные граничные условия

Параметры	**Значения**
Внутренний диаметр заготовки $d_з$	30 мм
Наружный диаметр заготовки $D_з$	50 мм
Длина детали L	60 мм
Толщина стенки заготовки $l_{тол.}$	10 мм
Угол заборного конуса α	2,4,6,8˚
Угол обратного конуса α	4˚
Ширина калибрующего пояска	2,5 мм
Натяг i	0,1 и 0,4 мм
Скорость дорнования	60 мм/с

Результаты исследования. Графики на рисунке 2 иллюстрируют распределение интенсивности остаточных деформаций по толщине стенки трубчатой заготовки после обработки при малом натяге i = 0,1 мм (рис. 2, а) и большом натяге i = 0,4 мм (рис. 2, б). Горизонтальная пунктирная линия на уровне значения 0,002 (0,2%) условно обозначает границу начала макропластической деформации для стали 45.

Анализ графиков на рисунке 2 показывает, что величина натяга i оказывает определяющее влияние на глубину распространения пластической деформации h.

При малом натяге i = 0,1 мм (см. рис. 2, а) пластическая деформация практически не возникает, она наблюдается лишь при угле заборного конуса α = 8°, однако глубина ее проникновения составляет всего около 2 мм, что является незначительным. При увеличении натяга до i = 0,4 мм (см. рис. 2, б) пластической деформации подвергается вся толщина стенки трубчатых деталей, независимо от угла заборного конуса α. Следовательно, можно утверждать, что изменение угла заборного конуса дорна α (от 2° до 8°) влияет лишь на пиковые значения интенсивности деформаций, практически не изменяя конечную глубину зоны деформирования. Таким образом, для управления глубиной упрочненного слоя необходимо варьировать именно величину натяга i.



а б

Рис. 2. Распределение интенсивности относительных деформации $\varepsilon_i^{пл.}$ по толщине стенки трубчатой детали: а) при натяге i = 0,1 мм; б) при натяге i = 0,4 мм: 1 – α = 2°; 2 – α = 4°; 3 – α = 6°; 4 – α = 8°

Вывод. На основе полученного результата был сформулирован следующий вывод: Глубина пластической деформации не зависит от величины угла заборного конуса α, а зависит только от величины натяга i. Величина угла заборного конуса α может изменять лишь степень пластической деформации на поверхности, или, иными словами, контактное давление между инструментом и деталью.

Список литературы

1. Зайдес С.А., Исаев А.Н. Технологическая механика осесимметричного деформирования: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007 – 432 с.
2. Lu Ke, Youlin Li, Chuanxi Li, Xu Jiang, Jun Ye, Ailong Chen, Guojin Li. Fatigue mechanisms and life prediction of cracked steel elements repaired with cold-expanded crack-stop holes // International Journal of Fatigue. 2026, vol. 207, p.109484. doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2026.109484.
3. Зайдес С.А., Чан Туан Зунг. Определение геометрических параметров деформирующего инструмента для дорнования трубчатых деталей // iPolytech Journal. – 2026. – Т. 30, №3. – С. 400-412. – doi.org/10.21285/1814-3520-2026-3-400-412.
4. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М: Машиностроение, 1971. – 208 с.

Сведения об авторах:
Лэ Тхи Ли – преподаватель;
Нгуен Куак Туан – старший преподаватель;
Нгьем Мань Дай – преподаватель;
Чан Туан Зунг – аспирант.