

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ

**Степанов М.С.**, докт. техн. наук, проф., декан

*(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)*

**Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук, проф.

*(Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Харьков, Украина)*

**Ключко А.А.**, докт. техн. наук, проф., **Анцыферова О.О.**, аспирант

*(Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина)*

**Палашек С.Ю.**, аспирант

*(Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина)*

*Одним из основополагающих факторов обеспечения высокой долговечности закаленных зубчатых колес является изучение состояния напряжений в поверхностном слое, которое определяется видом и условиями технологического воздействия в процессе зубошлифования. Рассмотрено влияние остаточных напряжений на прочность зубчатых колес в зависимости от тепла, возникающего в зоне резания и приводящего к образованию растягивающих напряжений, изменению твердости и структуры. Причиной структурных напряжений являются изменения объема по сечению материала, вызванные превращением аустенита меньшего удельного объема в структуре большего удельного объема.*

**Ключевые слова:** *зубошлифование, поверхностный слой, технологическое воздействие, закаленное зубчатое колесо*

*Одним з основних факторів забезпечення високої довговічності загартованих зубчастих коліс є вивчення стану напруження в поверхневому шарі, що визначається виглядом і умовами технологічного впливу в процесі зубошліфування. Розглянуто вплив залишкових напружень на міцність зубчастих коліс залежно від тепла, що виникає в зоні різання і призводить до утворення розтягуючих напружень, зміни твердості та структури. Причиною структурних напружень є зміна об'єму по перерізу матеріалу, яка викликана перетворенням аустеніту меншого питомого об'єму в структурі більшого питомого об'єму. Структурні залишкові напруження в поверхневому шарі зубчастих коліс при різних схемах зубошліфування з'являються завжди разом з тепловими напруженнями і викликають виникнення розтягуючих напружень, а в серцевині – напруження стиснення.*

**Ключові слова:** *зубошліфування, поверхневий шар, технологічний вплив, загартоване зубчасте колесо*

*One of the fundamental factors ensuring the high durability of hardened gears is the study of the state of stress in the surface layer, which is determined by the type and conditions of the technological impacts during gear grinding. The effect of residual stresses on the strength of gears depending on the heat generated in the cutting zone and leads to the formation of tensile stress, and hardness change of the structure. The cause of the structural stresses are measurable volume-tion over the cross section of the material caused by the conversion of smaller specific volume in the structure of austenite more specific volume.*

**Keywords:** *tooth-grinding, the surface layer, the technological impact, tempered gear*

Состояние напряжений в поверхностном слое определяется видом и условиями технологического воздействия на эвольвентную поверхность зубчатого колеса в процессе зубошлифования. Изменения состояния поверхностного слоя происходят в результате внесения в него энергии, необходимой для удаления материала в процессе зубошлифования.

Увеличение глубины резания сопровождается ростом сил резания, что способствует уменьшению величины растягивающих напряжений в поверхностном слое шлифованной поверхности зубьев зубчатого колеса.

Остаточные напряжения влияют на прочность зубчатых колес и зависят от тепла, возникающего в зоне резания, что приводит к образованию растягивающих напряжений, изменению твердости и структуры. В связи с этим возникает необходимость разработки математического моделирования описания степени влияния сил резания на процесс образования остаточных напряжений. Причиной структурных напряжений является изменение объема по сечению материала, вызванное превращением аустенита меньшего удельного объема в структуре большего удельного объема (мартенсит, бейнит, перлит, феррит) [1, 2, 3, 4]. Структурные остаточные напряжения в поверхностном слое зубчатых колес при различных схемах зубошлифования появляются всегда совместно с тепловыми напряжениями и вызывают возникновение растягивающих напряжений, а в сердцевине - напряжений сжатия. Анализируя распределение микротвердости в поверхностном слое, можно сделать вывод, что на структурные изменения верхнего слоя решающим образом влияет распределение тепла, так как в верхней части верхнего слоя могут появляться температуры, которые являются достаточными для создания мартенситных структур [2, 3, 4]. Влияние температуры и воздействие трения уменьшается с достижением более глубоких зон поверхностного слоя. Воздействие тепла во время зубошлифования может привести к возникновению новой закаленной зоны и находящегося под ней «мягкого» слоя [2, 3]. Этот процесс может сопровождаться преобразованием напряжений в поверхностном слое. Если в процессе технологического воздействия не происходят разовые и структурные изменения в материале, то преобладающее термическое влияние вызовет появление растягивающих напряжений, а механическое воздействие в случае растягивающих деформаций вызовет появление остаточных напряжений сжатия. Во время шлифования изменяются условия резания в зоне соприкосновения шлифовального круга с обрабатываемым зубом зубчатого колеса.

При использовании нерациональных параметров шлифования на шлифуемой поверхности зубчатого колеса появляется белый слой вторичной закалки, отпущенный мартенсит и остаточный аустенит [1, 2, 3]. Поэтому условия обработки имеют важное значение в процессе шлифования, а их несоответствующий подбор может привести к росту сил резания, увеличенному износу шлифовального круга, засаливаемости круга, росту температуры шлифования и увеличению остаточных напряжений в поверхностном слое обработанной поверхности, к появлению трещин и росту количества остаточного аустенита. Трещины возникают в результате отпуска мартенситной структуры, что прямо связано с образованием остаточных напряжений [2, 3, 4]. При построении теоретической модели необходимо учитывать одновременное влияние трения, температуры в зоне контакта и сил резания, что позволит установить влияние глубины резания на засаливаемость шлифовального круга. Корундовый шлифовальный круг ведет к образованию в зоне резания в два раза большей температуры, чем при применении боразонового шлифовального круга.

Очень важным моментом при зубошлифовании является обеспечение уменьшения температуры в зоне контактирования абразивного круга и обрабатываемой эвольвентной поверхности зубчатого колеса, сил резания с одновременным увеличением объема снимаемого металла и уменьшением степени засаливаемости круга. Силы резания и температура зависят от характеристики шлифовального круга и способа шлифования, тем более, что шлифование эвольвентных поверхностей зубьев зубчатых колес отличается некоторой спецификой протекания тепла [1, 4] с неравномерными силами шлифования [2, 4]. Поэтому процесс зубошлифования трудно поддается моделированию по сравнению с другими способами шлифования [3, 4].

Огромную роль в процессе зубошлифования играет также смазочно-охлаждающая жидкость [2, 4]. Расход СОЖ влияет на величину температуры. С увеличением расхода СОЖ температура во время шлифования понижается. Структурные напряжения вызываются изменением объема (мартенситно-аустенитных превращений [2]) при переходе через интервал критических температур (например, в аустенит, перлит, мартенсит, бейнит). Поэтому усиление диффузии наблюдается только в некотором интервале средних температур [3], а в высоких температурах преобладают эффекты, вызванные тепловыми колебаниями [3, 4]. Во время шлифования обнаружено возникновение очень высоких растягивающих начальных напряжений в поверхностном слое зубчатых колес [3, 4], достигающих 1000 [МПа].

Тепло в поверхностном слое, на глубине свыше 10 мкм, ведет к значительному приращению остаточных растягивающих напряжений, и только на больших глубинах (рис. 6) - к напряжениям сжатия [3, 5, 6].

Таким образом, связь тепла с остаточными напряжениями является очевидной. Однако характер этой связи требует проведения дальнейших исследований, связанных с изменением свойств поверхностного слоя, особенно при шлифовании зубьев зубчатых колес. Воздействие тепла при зубошлифовании приводит к возникновению новой закаленной зоны и находящегося под ней «мягкого» слоя. Этот процесс сопровождается преобразованием напряжений в поверхностном слое. В общем случае остаточные напряжения оказывают влияние на механические, физические и химические свойства обрабатываемого материала зубчатых колес. Во время зубошлифования изменяются условия резания в зоне соприкосновения круга с обрабатываемым зубом зубчатого колеса. При использовании нерациональных параметров зубошлифования на шлифуемой поверхности зубчатого колеса появляется белый слой вторичной закалки, отпущенный мартенсит и остаточный аустенит. Трещины возникают в результате отпуска мартенситной структуры, что прямо связано с образованием остаточных напряжений.

**Список литературы:** 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. *Ф.В. Новикова* и *А.В. Якимова*. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения". – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 2. *Якимов А.В.* Технологические основы обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колес / *А.В. Якимов*. – Одесса: Астропринт. 2003. - 453 с. 3. *Шелковой А. Н.* Общие принципы моделирования оптимального управления параметрами точности, качества и производительности зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес / *А. Н. Шелковой, Е. В. Мироненко, А. А. Клочко* // Вісник СевНТУ : зб. наук. праць. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». – Севастополь, 2013. – Вип. 140. – С. 203–210.