

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТРАНСПОРТНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Иван Дьяков, Юрий Моисеев

Ульяновский государственный технический университет, Россия

Эл. почта: i.dyakov@ulstu.ru

Аннотация. При механической обработке деталей на их поверхностях остаются следы от резца или шлифовального круга (риски и мелкие царапины), являющиеся концентраторами напряжений, наличие которых снижает усталостную прочность. Исследуется влияние механической обработки деталей транспортных и других машин на усталостную прочность. Представляются графические результаты различных испытаний.

Ключевые слова: механическая обработка, усталостная прочность, долговечность, концентрация напряжений.

При механической обработке деталей на их поверхностях остаются следы от резца или шлифовального круга (риски и мелкие царапины), являющиеся концентраторами напряжений, наличие которых снижает усталостную прочность (Демокритов и др. 2005; Дьяков 1985, 1987, 2003; Дьяков и Денисов 2004; Дьяков и Садриев 1992, 1996, 2001). Экспериментально установлено, что эти следы оказывают влияние на изменение площади петли гистерезиса. На полированных образцах площадь петли гистерезиса несколько меньше, чем на шлифованных образцах из того же материала (рис. 1), а на образцах, обработанных резцом, больше, чем на шлифованных, причем затраты энергии на деформацию при кручении в зависимости от количества циклов различны (рис. 2).

Из рис. 2 следует, что скорость роста микротрещин тем ниже, чем выше чистота обработанной поверхности. Образующийся при механической обработке микрорельеф и наклеп поверхностного слоя образца зависит от режимов резания и абразивной обработки, от возникающих при этом тепловых явлений, а также от свойств материала. Высокий кратковременный нагрев, сопровождающий тяжелые режимы резания и шлифования, вызывает структурные изменения в поверхностных слоях деталей, что может служить причиной повышения скорости роста микротрещин на 50% и более относительно полированной поверхности. Увеличение скорости резания, наоборот, способствует некоторому снижению угла наклона кривой, построенной по величине площади петли гистерезиса.

В таблице сопоставлены результаты испытаний по изменению угла наклона кривой площади петли гистерезиса в зависимости от количества циклов нагружения при кручении образцов диаметром 25 мм из стали 45 и 40Х. Часть образцов испытывалась после обычной обработки на токарном станке, а другая часть подвергалась обработке с повышенной подачей и увеличенной глубиной резания. База испытаний составила $5 \cdot 10^6$ циклов.

Испытания показали значительное повышение скорости роста микротрещин у образцов незакаленной стали. Значительное снижение роста микротрещин достигается применением обкатки образца роликами. Эта технологическая операция полностью устраняет дефекты, возникающие при силовой обработке. Материал значительно изменяет гистерезисные потери после термической обработки. Энергозатраты на деформацию материала имеют тенденцию снижения до определенной точки и последующее постепенное возрастание (рис. 3). Все заканчивается поломкой образца.

Детали машин часто подвергаются перегрузкам. Они могут возникать систематически, как это имеет место в коленчатых валах двигателей внутреннего сгорания, а также в осях вагонов при прохождении через участки рельсов со слабо подбитыми шпалами. Значительные перегрузки, действующие относительно длительное время, снижают усталостную прочность металла. Снижение предела выносливости за счет перегрузок можно объяснить возникновением микротрещин в наиболее напряженных и невыгодно

ориентированных зернах при работе детали с высокими напряжениями.

Кривая, вычерченная после появления микротрещин (рис. 1, точка N_0), отражает перегрузки, приводящие к повреждению и снижению поверхностной твердости. На рис. 3 представлены зависимости изменения долговечности от степени повреждения, полученные в результате испытания на кручение при симметричном цикле нагружения образцов из мало-

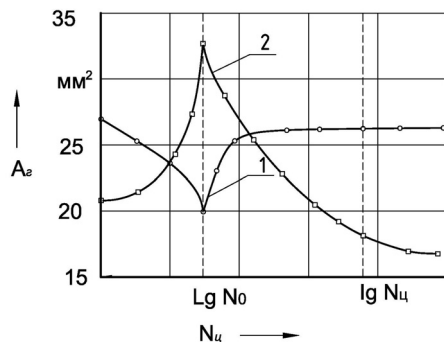


Рис. 1. Влияние изменения гистерезисных петель на деформацию при кручении стали 45: 1 – образцов, обработанных резцом; 2 – шлифованных образцов; 3 – полированных образцов

1 pav. Deformacijos histerezės kilpų kitimas esant sukimui (medžiaga – plienas 45): 1 – ruošinys, apdirbtas rėžikliu; 2 – šlifuotas ruošinys; 3 – poliruotas ruošinys

Fig. 1. The changing of hysteresis loops depending on the torsion deformation of Steel 45: 1 – for specimens machined by a cutting tool; 2 – for ground specimens; 3 – for polished specimens

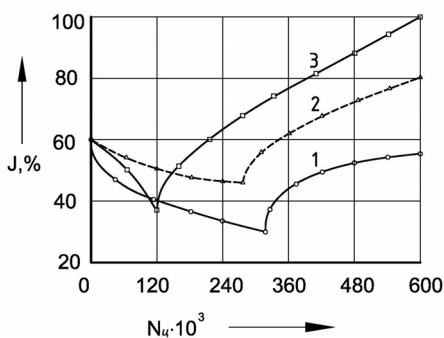


Рис. 2. Влияние изменения гистерезисных потерь на деформацию закаленной стали 45 в зависимости от количества цикла нагружения: 1 – образцов, обработанных резцом; 2 – шлифованных образцов; 3 – полированных образцов

2 pav. Histerezės nuostolių kitimas deformuojant ruošinį (medžiaga – grūdintas plienas 45) priklausomai nuo apkrovimo ciklų skaičiaus: 1 – ruošinys, apdirbtas rėžikliu; 2 – šlifuotas ruošinys; 3 – poliruotas ruošinys

Fig. 2. The changing of hysteresis loops depending on the deformation of hardened Steel 45 and the number of cycles: 1 – for specimens machined by a cutting tool; 2 – for ground specimens; 3 – for polished specimens

углеродистой стали с пределом прочности $\sigma = 370$ МПа и пределом выносливости $\sigma_{-1} = 220$ МПа. На величину предела выносливости весьма существенно влияют размеры образцов. При увеличении размеров образцов предел выносливости понижается. Уменьшение усталостной прочности с увеличением размеров деталей имеет большое практическое значение, так как неучет этого обстоятельства при расчете деталей приводит к ошибке в сторону переоценки прочности материала.

Понижение усталостной прочности с увеличением размеров деталей можно объяснить тем, что количество частиц материала, расположенных у поверхностей, состояние которых наиболее напряженно, увеличивается. При этом уменьшается градиент изменения напряжений, тем самым повышается вероятность наличия различных дефектов в поверхностном слое. В этих местах обычно и начинается развитие усталостных трещин, рост которых особенно интенсивен при небольших градиентах напряжения.

Отношение скорости роста микротрещин детали к скорости роста микротрещин образца диаметром 6...12 мм характеризует масштабный фактор, обозначенный ϵ_m . При этом состояние поверхностных слоев детали и образца одинаково.

На рис. 4 показаны зависимости масштабного фактора от диаметра образца при симметричном цикле изменения напряжений.

Как видно из рис. 4, масштабный фактор при кручении образца оказывает большее влияние, чем при изгибе.

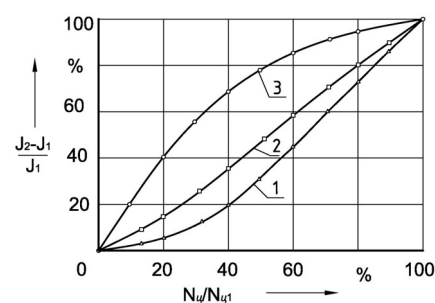


Рис. 3. Изменение долговечности образца в зависимости от степени повреждения для стали 45: 1 – $\sigma_1=340$ МПа, $N_{u1} = 0,64 \cdot 10^6$; 2 – $\sigma_2 = 230$ МПа, $N_{u2} = 0,42 \cdot 10^6$; 3 – $\sigma_3 = 230$ МПа, $N_{u3} = 0,64 \cdot 10^4$

3 pav. Ruošinio ilgaamžiškumo priklausomybė nuo sugadinimų (medžiaga – plienas 45): 1 – $\sigma_1=340$ МПа, $N_{u1} = 0,64 \cdot 10^6$; 2 – $\sigma_2 = 230$ МПа, $N_{u2} = 0,42 \cdot 10^6$; 3 – $\sigma_3 = 230$ МПа, $N_{u3} = 0,64 \cdot 10^4$

Fig. 3. The changing of specimen's durability depending on the extent of damage for Steel 45: 1 – $\sigma_1=340$ МПа, $N_{u1} = 0,64 \cdot 10^6$; 2 – $\sigma_2 = 230$ МПа, $N_{u2} = 0,42 \cdot 10^6$; 3 – $\sigma_3 = 230$ МПа, $N_{u3} = 0,64 \cdot 10^4$

Таблица. Влияние силового резания на скорость роста микротрещин

Lentelė. Įėjinio pjovimo įtaka mikroįtrūkių atsiradimo greičiui

Table. The effect of power cutting on the rate of microcracks formation

Марка стали	Обычное точение					Силовое резание		
	Режимы резания			Скорость роста микротрещин, мкм/цикл		Режимы резания		
	скорость, м/с	подача, мм/об	глубина, мм	после токарной обработки	после обработки шлифованием	скорость, м/с	подача, мм/об	глубина, мм
Сталь 45 (нормализованная)	22	0,07	0,3	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,65 \cdot 10^{-7}$	80	1,0	1,0
Сталь 40X	22	0,07	0,3	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	80	1,0	1,0

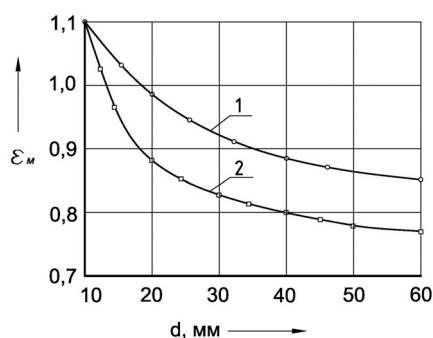


Рис. 4. Изменение масштабного фактора в зависимости от диаметра образца стали 45: 1 – кручение; 2 – изгиб

4 pav. Mastelinio faktoriaus priklausomybė nuo ruošinio skersmens (medžiaga – plienas 45): 1 – sukimas; 2 – lenkimas

Fig. 4. The change in scale factor depending on the diameter of Steel 45 specimen: 1 – torsion; 2 – bending

Полученные зависимости концентраторов напряжений позволяют применять системный подход к прогнозированию ресурса детали при различных режимах нагружения.

Заключение

Системный подход позволяет комплексно учитывать основные конструктивные особенности детали. Помимо традиционного прочностного расчета в нем используются элементы дискретной математики (теория множества, теория графов), теория планирования эксперимента и теория вероятности. Общее представление об элементах рассматриваемой системы и связях между ними формируется с помощью обобщенной модели.

Учитывая множества концентраторов напряжений, следует сделать вывод о том, что изменение свойства детали зависит от процесса изготовления, режимов нагружения и других факторов, которые должны учитываться при проектировании для обеспечения заданной прочности деталей машин.

Литература

- Демокритов, В. Н.; Недоводеев, В. Н.; Дьяков, И. Ф.; Олешкевич, А. В.; Демокритова, А. В. 2005. *Основы проектирования машин*. Ч. 1. Ульяновск: УлГТУ. 88 с.
- Дьяков, И. Ф. 1985. Выбор материалов для деталей автомобиля, *Автомобильная промышленность* 1: 15–16.
- Дьяков, И. Ф. 1987. Метод оптимального выбора материала при проектировании деталей транспортных машин, в *Исследование оптимальных металлоконструкций и деталей подъемно-транспортных машин. Оптимальное проектирование и расчет конструкции: межвуз. сб. науч. тр.* Саратов, 72–77.
- Дьяков, И. Ф. 2003. *Основы оптимального проектирования в автомобилестроении*. Ульяновск: УлГТУ. 242 с.
- Дьяков, И. Ф.; Денисов, А. В. 2004. *Прикладное оптимальное проектирование в автомобилестроении*. Ульяновск: УлГТУ. 280 с.
- Дьяков, И. Ф.; Садриев, Р. М. 1992. К вопросу выбора материала при проектировании деталей машин, в *Исследование оптимальных металлоконструкций и деталей подъемно-транспортных машин. Оптимальное проектирование и расчет конструкции: межвуз. сб. науч. тр.* Саратов, 6: 71–74.
- Дьяков, И. Ф.; Садриев, Р. М. 1996. Некоторые результаты усталостных испытаний опытных образцов из стали 40X, в *Тез. докл. 30 науч.-техн. конф. (февр.)*. Ульяновск, УлГТУ, 2: 30–31.
- Дьяков, И. Ф.; Садриев, Р. М. 2001. Определение ресурса деталей при проектировании автомобилей, в *Автомобиль и техносфера: тр. 2 Междунар. науч.-практ. конф.*, 13–15 июня. Казань, 109–111.

DETALIŲ MECHANINIO APDIRBIMO ĮTAKA JŲ STIPRIUI

I. Djakov, J. Moisejev

Santrauka

Mašinų detalės dažnai veikia didelės apkrovos (perkrovos). Jos gali būti sisteminio pobūdžio, pavyzdžiui, vidaus degimo variklio alkūninis velenas, vagono aširačiai ir pan.

Didelės apkrovos (perkrovos), veikiančios ilgą laiką, mažina metalo stiprį, atsiranda mikrotrūkių, vėliau detalės lūžta.

Tiriami detalių mechaninio apdirbimo būdai, detalių mikroprofilo kaita esant skirtingiems apdirbimo būdams bei detalių patvarumas ir patikimumas esant sugadinimams.

Reikšminiai žodžiai: mašinų detalės, apkrovos, stipris, apdirbimo būdas, patikimumas, patvarumas.

THE INFLUENCE OF MACHINING OF PARTS ON THEIR FATIGUE STRENGTH

I. Dyakov, J. Moisejev

Abstract

In machining the parts, shallow scratches and marks are made on their surfaces by a cutting tool or a grinding wheel, which are stress concentrators, decreasing the fatigue strength of the parts.

The paper investigates the influence of machining the parts of vehicles and others machines on their fatigue strength.

Graphical results of the tests made are presented.

Keywords: machining, fatigue strength, durability, stress concentration.