

INFLUENCE OF THE DESIGN FEATURES OF THE SHAFTS ON THEIR MECHANICAL STRENGTH

Yuliyan Dimitrov, PhD

Department of Machine Science, Machine Elements, Engineering graphics and Physics,
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +82 888 492
E-mail: ydimitrov@uni-ruse.bg

***Abstract:** The paper reviews strength research of shafts. An analysis of the influence of various design features on the strength of the shafts is considered. For the purpose of the research simulation analyzes of 3D models developed with the CAD system Solid Works are used. The different stresses at different sizes, loads and constructions of the shafts are considered. The results of the different types of strength calculations are compared and conclusions are made.*

Keywords: shaft, strength calculations, CAD system

ВЪВЕДЕНИЕ

Елементите в механичните системи, които се разрушават по време на експлоатация (например редуктори, задвижвания и др.) са валове, зъбните колела и търкалящите лагери. През тези елементи минава силовия поток и те трябва да са проектирани с достатъчна якост.

Способността на тези машинни елементи да се съпротивляват срещу разрушаване се нарича якост. Разрушаването в следствие на експлоатацията на детайлите може да е обемно или повърхностно. Разрушаването и разделянето на две на един вал под външно въздействие представлява обемно разрушаване. Изтриването или износването на работните повърхнини на лагерите, зъбните профили на зъбните колела се нарича повърхностно разрушаване.

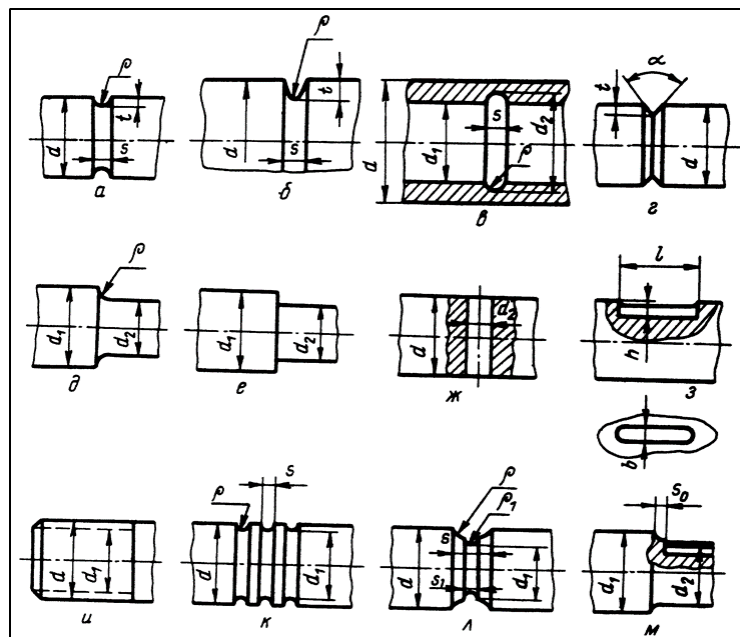
ИЗЛОЖЕНИЕ

Особености на концентраторите на напрежение, влияещи на якостта на елементите

Якостта на различните машинни елементи се влияе от много фактори, които я правят по-малка от якостта на материала, от който е изработен. Основен фактор влияещ на якостта е формата. Машинните елементи имат форма, която в повечето случаи се различава от формата на лабораторните епруветки, с които се определят физикомеханичните характеристики на материалите.

Това се установява основно при машинния елемент вал и има голямо значение при проектиране на формата му. Например, при проектиране на вал, от конструктивни, технологични и якостни съображения, диаметърът му се променя по дължината. Допълнително се изработват околоръстни канали за осигурителни пръстени, резбови повърхнини за завиване на гайки, канал за шпонка или шлицови канали.

В тези места се наблюдава местно нарастване на напреженията което се нарича концентрация на напреженията, предизвикано от резки преходи в напречните им сечения вследствие стъпално изменение на размерите, отвори, канали, прорези, резби и др., наричани концентратори (фиг.1).



Фиг.1 Примерни схеми за концентратори на напреженията при валове.

Те биват два вида: конструктивни, които зависят от формата на машинните елементи, и технологични, които са свързани с методите на изработката и монтажа на възлите (например следите от струговане, от щемпелуване, пресови съединения и др.).

Теория на напреженията при наличието на концентратори

По дължината на вала в зоната на прехода от диаметър D на d (фиг.2) се наблюдава местно (локално) повишаване на напреженията, който ефект се нарича концентрация на напреженията.

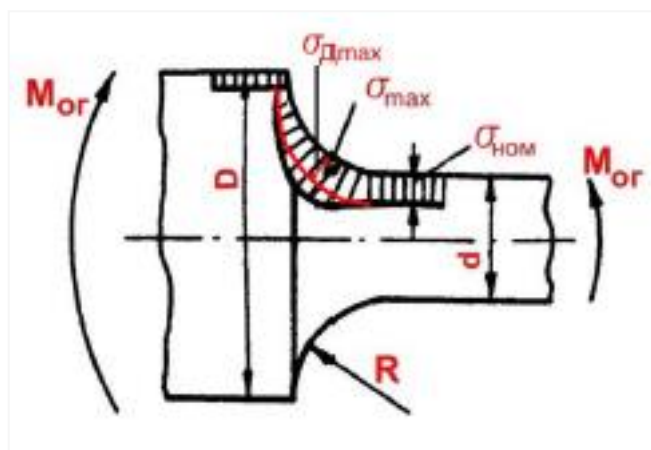
При широко използване принципа на Сен Венан, по дисциплината „Съпротивление на материалите”, предизвиканите от огъващия момент $M_{ог}$ напрежения се наричат номинални и се определят за по-малкия диаметър d , както за гладък образец по израза:

$$\sigma_{ог} = \frac{M_{ог}}{W_{ог}} = \frac{M_{ог}}{0,1.d^3} \quad (1)$$

Напрежението σ_{max} в мястото на прехода е по-голямо от номиналното $\sigma_{ном}$. Това местно повишаване на напреженията се отчита с теоретичния коефициент на концентрация α_σ , който се изчислява по израза:

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ном}} \quad (2)$$

Коефициентът α_σ се нарича теоретичен, тъй като се определя за хомогенни и идеално еластични материали, за които е валиден законът на Хук. Теоретичното определяне на α_σ е трудно и изисква сложен математичен апарат.



Фиг.2 Концентрация на напреженията

Експерименталното определяне на α_σ може да се извърши на образци, изработени от крехък материал, за който законът на Хук е в сила до границата на разрушаване. При натоварване, когато максималните напрежения достигнат границата на разрушаване, в зоната на концентрация се появяват пукнатини. За този момент по отчетеното външно натоварване и при известен диаметър на пробата се изчислява стойността на напреженията, които се възприемат като номинални $\sigma_{\text{ном}}$. След заместване на σ_{max} , в израза за теоретичния коефициент с граничната стойност σ_B и изчисленото номинално напрежение, може да се определи теоретичния коефициент на концентрация.

Чрез тензометриране с малобазисни датчици, по поляризационно- оптичния метод, по метода на крайните елементи и др. също може да се определи експериментално α_σ .

Коефициентът на концентрация на напреженията показва колко пъти се е понижила якостта на детайла в мястото на концентратора. Действителната якост на машинния елемент зависи и от свойствата на материала, от който е изработен. За отчитане и на този фактор е въведено понятието ефективен коефициент на концентрация k_σ , който се определя по израза:

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{\text{дmax}}}{\sigma_{\text{ном}}}, \quad (3)$$

където $\sigma_{\text{дmax}}$ е действителното максимално напрежение в мястото на концентрация.

При пластични материали действителното максимално напрежение е по-малко от теоретичното, тъй като се проявява ефектът на „изглаждане на напреженията”. За някои материали този ефект е твърде голям и на него се дължи уякчаването (наклеп) на материала в зоната на концентрация при постоянно и по-продължително въздействие на натоварване. За отчитане ефекта на изглаждане на напреженията се въвежда коефициент на чувствителност на материала към концентрация, който се изчислява по израза:

$$q_\sigma = \frac{k_\sigma - 1}{\alpha_\sigma - 1}, \quad (4)$$

където числителят е действителното, а знаменателят – теоретичното нарастване на напреженията в мястото на концентрация. При известни α_σ и q_σ може да се определи действителният коефициент на концентрация k_σ :

$$k_\sigma = 1 + q_\sigma \cdot (\alpha_\sigma - 1) \quad (5)$$

Стоманите с по-високо съдържание на въглерод са по-чувствителни и при тях q_σ клони към 1 (единица), а при ниско-въглеродните - q_σ клони към 0 (нула).

При практическите задачи за проектиране и якостно оразмеряване на валове се използват провеките за коефициента на сигурност [S], влияещ на якостта на умора на материала и зависещ от зоните на концентрация на напреженията в един вал.

Минималният коефициент на сигурност [S] се приема в границите – 1,3÷2,4.

[S] = 1,3÷1,5, приема се при точни изчислителни схеми, точно познаване на действията на натоварването и механичните характеристики на материала;

[S] = 1,5÷2,1, приема се когато информацията не е изцяло пълна;

Изследване на влиянието на концентратори чрез CAD системи

Тъй като теоретичното определяне на коефициента на сигурност е обемен процес и изисква сложен математичен апарат. Затова през последните години е възможно да се използват якостни симулации с различни CAD системи (SolidWorks, Autodesk Inventor и др.) при проектирането на валове и якостните им проверки.

За целта на изследването на доклада е проектиран стоманен вал (материал С45) от цилиндричен едностъпален редуктор на който са изследвани различни видове концентратори с различна форма и размери при едно и също натоварване. Установени са коефициентите на сигурност при различните стойности на параметрите на концентраторите. Изследването е направено с модул Simulation на SolidWorks

Резултатите от изследването на влиянието на радиуса на закръгление на концентратора са посочени в табл.. Целта е да се проследи относителната промяна на коефициента на сигурност при промяната на формата на концентратора при едно и също натоварване.

Таблица 1. Резултати от изследването на напреженията

Радиус на закръгление	[S] за шпонков канал	[S] за щифт	[S] за канал
R=0	1,1	1,1	1,1
R=1	1,2	1,1	1,2
R=2	1,3	1,2	1,3
R=3	1,6	1,3	1,4
R=4	2,2	1,3	1,8

По идентичен начин влияе и разликата в диаметрите на отворите и каналите изработени във вала, като с увеличаване на съотношението на размерите се увеличават максималните напрежения и коефициента на концентрация, съответно коефициента на сигурност намалява.

От таблицата може да се установи, че с увеличаване на радиуса на закръгление се намалява влиянието на концентратора с което се повишава якостта и коефициента на сигурност.

Изследването е направено съвместно с по-голямо изследване с различни CAD системи към дисертационен труд на докторантката Йорданка Димитрова от Русенски университет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При задачите на конструкторите за проектиране на машинни изделия с оптимална форма и якост се сблъскват с многовариантни задачи, от които трябва да избират решенията на елементите с най-висока якост. Този процес е с голям обем обработена информация и голяма дълготрайност. Именно тук се намесват CAD-системите и с техните инженерни решения на тези задачи (якостни симулационни анализи) намаляват времето за проектиране и изследване, като осигуряват необходимата база данни с пълна информация за всички разгледани варианти в процеса на проектиране. Чрез тези системи може да се прави пълен и обстоен анализ на всички възможни решения.

REFERENCES

Collins, J., H. Busby, G. Staab (2010). Mechanical Design of Machine Elements and Machines, Second edition. A Failure, Prevention, Perspective, The Ohio State University, John Wiley & Sons, 2010, ISBN-13 978-0-470-41303-6.

Antonsson, G. (eds),(2008). Springer Handbook of Mechanical Engineering, Springer, 2008, ISBN 978-3-540-41131-6.

Ненов П., Д. Андреев. (2007) Курсово проектиране по машинни елементи. София, Техника, 2007.

Ненов П., Е. Ангелова., А. Добрева., В. Добрев.(2010) Машинни елементи (с алманах). Русе, Русенски университет, 2010, ISBN-978-954-712-504-9.

Спасов И., Т. Дюлгерян. (2010) Машинни елементи. Част 1. Русе, Русенски университет, 2010, ISBN-978-954-712-485-1.

Христов Д., Г. Петков. (1980) Пресмятане и конструиране на машинни елементи. София, Техника, 1980.