

СЕКЦІЯ 1
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО
ВИРОБНИЦТВА»

UDK 621.9.02

Radzevich S.P. , Dr.(Eng)Sc. , Professor
 RICARDO, Inc., USA, radzevich@usa.com

THREE FUNDAMENTAL LAWS OF GEARING: FOR GEAR DESIGN AND GEAR PRODUCTION

Production of gears is tightly associated with the gear design. When gears are cutting on the gear generators, the kinematics of the gear machining operation, as well as the geometry of the gear-cutting tool, both must obey “*three fundamental laws of gearing*”. Immediately below, these laws of gearing are briefly outlined with respect to C_a – *gearings* (that is, with respect to *crossed-axes gearings*). The case of C_a – *gearings* is the most general one. Thus, I_a – *gearings* (that is, *intersected-axes gearings*), and P_a – *gearings* (that is, *parallel-axes gearings*) are also covered in this consideration.

The first fundamental law of gearing. This law of gearing requires a proper contact of a gear tooth flank, G , and a mating pinion tooth flank, P . The “*Shishkov equation of contact*”:

$$n_g \cdot V_{\Sigma} = 0 \quad (1)$$

is commonly used to describe analytically this law of gearing (Prof. V.A. Shishkov, 1948 [1], [2]). Here is designated: \mathbf{n}_g is the unit vector of a common perpendicular at a point of contact of the tooth flanks, G and P , and \mathbf{V}_{Σ} is the linear velocity vector of the resultant relative motion of the tooth flanks, G and P . The “*Shishkov equation of contact, $\mathbf{n}_g \cdot \mathbf{V}_{\Sigma} = 0$* ”, is known at list since 1948, therefore there is no need to discuss this equation here in more detail.

The second fundamental law of gearing. To fulfill this law of gearing, at every point of the line of contact, a straight line along the common perpendicular vector, \mathbf{n}_g , must intersect the axis of instant rotation, P_{ln} , of the tooth flanks, G and P . The “*equation of conjugacy*”:

$$\mathbf{p}_{ln} \times \mathbf{V}_m \cdot \mathbf{n}_g = 0 \quad (2)$$

is proposed by Prof. S.P. Radzevich (2017) to describe analytically this law of gearing. Here is designated (Fig. 1): \mathbf{p}_{ln} is the unit vector along the axis of instant rotation, P_{ln} (as the angular velocity vector, $\boldsymbol{\omega}_{pl}$, is also along the axis of instant rotation, the unit vector, \mathbf{p}_{ln} , can be substituted with the vector, $\boldsymbol{\omega}_{pl}$), \mathbf{V}_m is the linear velocity vector along an instant line of action, LA_{inst} , through the point of interest, m . In addition, the condition $\mathbf{n}_{pl} \cdot \mathbf{n}_g \neq 0$ must be fulfilled (here, \mathbf{n}_{pl} is the unit normal vector to the axis of instant rotation, P_{ln} ; the vector, \mathbf{n}_{pl} , is entirely located within the plane of action, PA , of the gear pair).

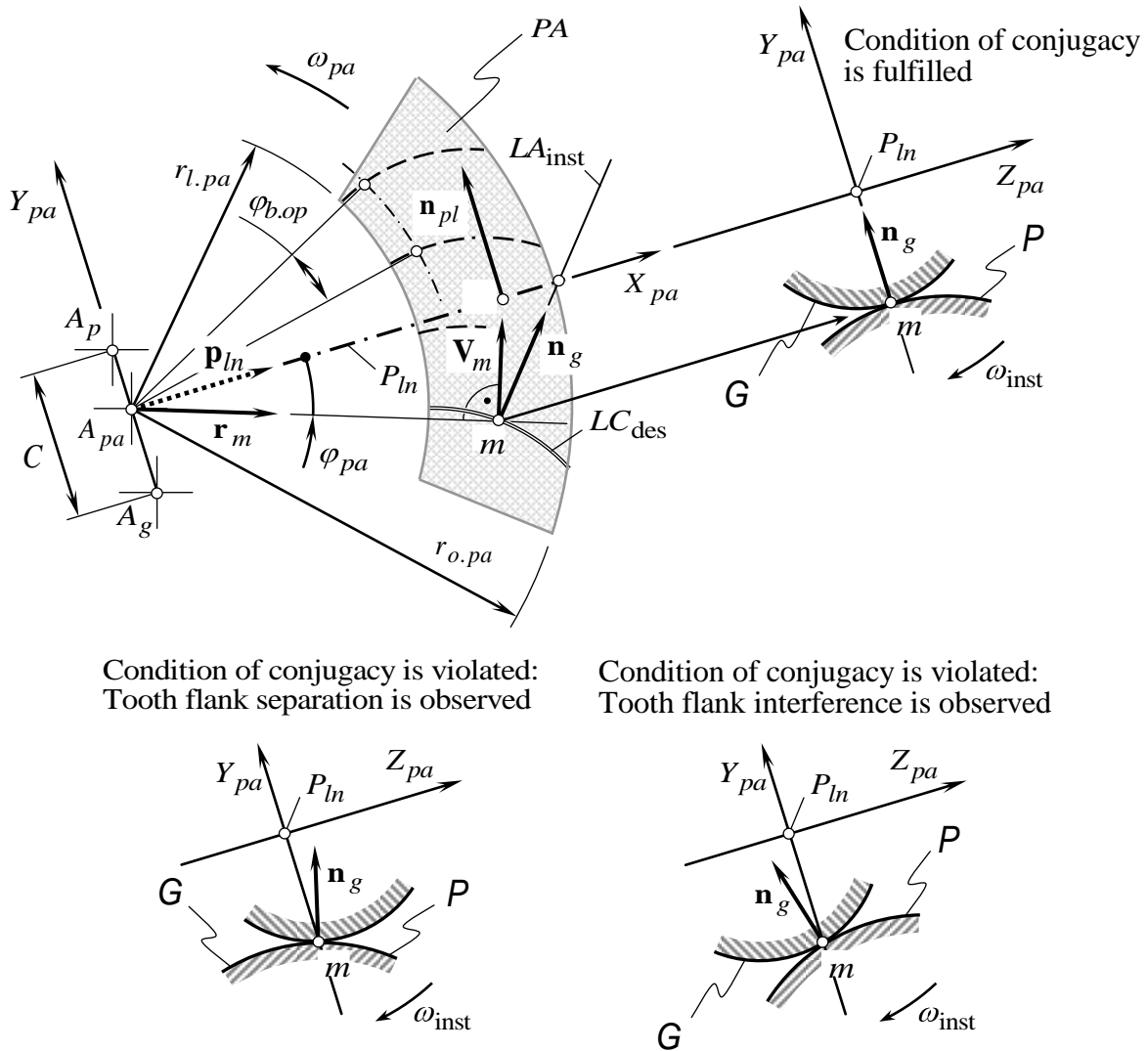
In the simplest case of perfect P_a – *gearing*, second fundamental law of gearing reduces to “*Willis theorem of parallel-axes gearing*” (the term “*Willis theorem*” is an obsolete one; nowadays “*Willis theorem*” is referred to as “*CES – theorem of parallel-axes gearing*”, that stands for “*Camus-Euler-Savary theorem of parallel-axes gearing*”).

The third fundamental law of gearing. In order to meet this law of gearing, angular base pitch of a gear, $\varphi_{b,g}$, must be equal to operating base pitch of the gear pair, $\varphi_{b,op}$, and angular base pitch of a mating pinion, $\varphi_{b,p}$, also must be equal to operating base pitch of the gear pair,

$\varphi_{b.op}$ (Prof. S.P. Radzevich, 2008, [3]). The third fundamental law of gearing is analytically expressed by a set of two equations (Fig. 1):

$$\begin{cases} \varphi_{b.g} = \varphi_{b.op} \\ \varphi_{b.p} = \varphi_{b.op} \end{cases} \quad (3)$$

or simply as $\varphi_{b.g} = \varphi_{b.p} = \varphi_{b.op}$.



Condition of conjugacy is violated:
Tooth flank separation is observed

Condition of conjugacy is violated:
Tooth flank interference is observed

Fig. 1 – Condition of conjugacy of a gear, G and a mating pinion, P , tooth flanks in crossed-axes gearing.

Around 2008, the concept of the “operating base pitch, $\varphi_{b.op}$, of a gear pair” was introduced by Prof. S.P. Radzevich [3]. The proposed concept is specified for all three possible kinds of gearings, that is, for: (a) P_a – gearings, (b) I_a – gearings, and (c) C_a – gearings.

Conclusion: The briefly discussed set of “three fundamental laws of gearing” is of critical importance for both, for the gear designers [3], as well as for the gear manufacturers [4].

References

1. Шишков В. А. Элементы кинематики образования и зацепления зубчатых передач / В. А. Шишков // Теория и расчет зубчатых передач. ЛОНИТОМАШ, кн. 6. – М. – Л.: Машгиз, 1948.

2. Шишков В.А., Образование поверхностей резанием по методу обкатки. / В.А. Шишков – М.: Машгиз, 1951. –152с.

3. Radzevich, S.P., *Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis*, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2018. – 712 pages. [First edition: Radzevich, S.P., *Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2012, 743 pages.].

4. Radzevich, S.P., *Gear Cutting Tools: Science and Engineering*, 2nd Edition, Boca Raton Florida, 2017, 564 pages. [First edition: Radzevich, S.P., *Gear Cutting Tools: Fundamentals of Design and Computation*, Boca Raton Florida, 2010. – 754 pages.].

УДК 621.923.4:621.922.34

Рыжов Ю.Э., канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, torsion.rue@gmail.com

Абрамова С.Л., вед. инженер

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, pchelasp@ukr.net

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ

Всю совокупность технологических методов получения деталей машин с требуемыми свойствами можно разделить на три основные группы [1-3]: 1) методы получения материалов для изготовления деталей машин; 2) химико-термические, электронно-лучевые, ионно-плазменные методы обработки; 3) финишные методы механической обработки поверхностей.

Недостаточная разработанность на сегодняшний день методов первой и второй групп применительно к условиям массового производства, а также их относительная дороговизна и сложность реализации, делает наиболее приемлемыми для широкого и универсального применения финишные методы механической обработки поверхностей деталей пар трения. Роль смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) в процессах финишной обработки металлов и, в частности, в формировании поверхностных слоев деталей и повышении их износостойкости описана в научно-технической литературе крайне ограниченно.

Легирующие элементы, содержащиеся в активных компонентах СОТС, существенно, даже в микроконцентрациях, изменяют упруго-пластические характеристики кристаллической решетки железа. С другой стороны, модифицированные поверхностные слои начинают выполнять роль органично связанных с объемом тонких пленок, которые во время деформации влияют на упрочнение и пластичность уже значительно больших приповерхностных микрообъемов стали [4]. Вот почему СОТС, обеспечивая различные толщины науглероженных и оксидных слоев стали, обуславливают формирование различной шероховатости и трибологических свойств ее поверхности.

На основании проведенных в ИСМ НАН Украины и УкрНИИ НП "МАСМА" исследований была разработана универсальная микроэмульсионная СОТС "Трибол" [5]. Разработанная СОТС прошла лабораторные испытания на коррозионную, бактерицидную, антипенную стойкость, стабильность при хранении концентрата и 3-6%-ного водного раствора и признана соответствующей действующим стандартам.

Поскольку в большинстве случаев при изготовлении стальных деталей прецизионных пар трения после обработки поверхностей методами хонингования или суперфиниширования [6] применяется доводка пастами на основе карбида титана или алмазных микропорошков были проведены исследования по применимости разработанной СОТС "Трибол" в доводочных составах. Для доводки металлических поверхностей, как правило, применяются жировые пасты зернистостью 10/7 и 5/3. С целью выяснения вопроса повышения эксплуатационных свойств стальных деталей пар