DOI: 10.2298/SOS0603201R

UDK 622.785

Sixty Years of the Theory of B. Ya. Pines

M. M. Ristić^{1*}), M. V. Nikolić²

¹Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia

Modern science of sintering is objectively based on fundamental work published by Ya. I. Frenkel', B. Ya Pines and G. Kuczynski in the mid forties of the previous century. They analyzed problems of the growth of particle contacts and pore healing during sintering. B. Ya. Pines published his pioneer paper "On (solid state) sintering" [1] in 1946 (fig. 1).



B.Ya.Pines

In this paper the problem of vacancy diffusion in the crystal lattice that reduces pore volume during sintering was analyzed for the first time. G. Kuczynski later used this mechanism in his classical paper investigating problems of self-diffusion as a sintering mechanism of metal particles [2].

B. Ya. Pines stated:

"Let us analyze a body with linear dimensions L, representing a pressed powder with homogenous grains with equal dimensions λ , where $\lambda << L$. Atom positions are located in pores of such a body close to grain contacts and their potential energy differs only slightly (for ΔU) from the normal value in a crystal lattice of this material $-U_0$. This characterizes a relatively high probability W of atom jumps (when the body is heated) from grains into pore space close to "contacts" with simultaneous formation of holes in the grain."

Further:

"... This way pore "healing" close to contacts occurs..."

It is interesting that six months before B. Ya. Pines published his paper "On (solid state) sintering", Ya. I. Frenkel published his paper 'Viscous flow in crystal bodies" [3]. Ideas on pore healing using a mechanism of "viscous" pore healing were presented in this paper. Surface strain forces cause viscous flow of the crystalline body into the pore volume causing pore healing (Fig. 1).

²Center for Multidisciplinary Studies of the University of Belgrade, Belgrade, Serbia

^{*)} Corresponding author: mmristic@mi.sanu.ac.yu

1946 г. ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ Том XVI, вып. 6
1946 JOURNAL OF TECHNICAL PHYSICS Vol. XVI, No 6

о спекании (в твердой фазе)

Б. Я. Пинес

1. Явление "спекания" спресованных порошков при нагревании состоит в уменьшении пористости, сопровождаемом "усадкой" (т. е. сокращением линейных размеров), а также повышением механической прочности тела. Это явление используется в технологических процессах, врименяемых в керамике (в частности, в производстве огнеупоров, металлокерамике и т. д.).

Спекание может итти как с образованием жидкой фазы на границах зерен (в неоднородных системах), так и без всякого участия жидкой фазы. В последнем случае, который только и рассматривается ниже, спекание осуществляется "диффузионным" путем, но не сводится к простой рекристаллизации, ибо наиболее существенную роль в этом явлении играет удаление пор из тела.

2. Так как из твердого тела поры не могут удаляться в виде макроскопических образований (например, подобно пузырькам газа из жидкости), исчезновение их при спекании должно осуществляться с помощью молекулярного механизма. Попытаемся указать этот механизм.

Пусть взято тело линейных размеров порядка L, представляющее собой спрессованный порошок однородных зерен одинаковых линейных размеров λ , причем $\lambda \ll L$. В порях такого тела вблия участков "контакта" зерен найдутся позиции для атомов, где потенциальная энергия сравнительно мало (на величину ΔU) отличается от ее нормального значения ΔU отличается от ее нормального значения ΔU отличается от ее нормального значает тельно высокую въроятность W перехода атомов (при нагревании тела) из зерен в пространство пор вблизи участков "контакта" с одновремен-

в' кристаллической решетке данного вещества — U_0 . Это означает относительно высокую вероятность W перехода атомов (при нагревании тела) из зерен в пространство пор вблизи участков "контакта" с одновременным образованием "дырок" (незамещенных узлов кристаллической решетки) внутри зерен. Можно трактовать этот эффект как повышение скорости образования "дырок" или, если угодно, скорости "растворения" пространства пор в зернах, и определить его температурную зависимость по обычной экспоненциальной формуле

$$W = Ce^{\frac{-ab}{kT}}, (1)$$

где C должно быть пропорционально количеству позиций с энергией ΔU , т. е. $C \sim \frac{sp}{\lambda^3}$, если p — число повиций, непосредственно прилегающих к одному участку контакта ($p \sim \sqrt{\omega}$, где ω есть илощадь контакта); z — координационное число верен (число контактов в одном верне); $\frac{1}{\lambda^3}$ — число верен в единице объема; k — постоянная Больтциана и T — абсолютная темпоратура.

абсолютная температура. Заметим, что ΔU не есть точно определения величина, поскольку она зависит от угла (в крививны) поверхностей верен вблизи контакта. Но, конечно, всегда $\Delta U < U_0$ и, кроме того, $\Delta U > \delta U$, если δU —потенциальный барьер между двумя соседними увлами решетки.

Fig. 1 The first page of B.Ya. Pines's manuscript.

B. Ya. Pines devoted more than twenty years to further development of the physics of sintering. Objectively speaking the results of his research represent a significant contribution to the current level of the science of sintering.

References

- 1. B. Ya. Pines, J. Techn. Phys., 16, (1946), Vol. 6
- 2. G.C. Kuczynski, J. Appl. Phys., 20 (1949), 1160
- 3. Ya. I. Frenkel', J. Phys., USSSR, 9 (1945), 385