

PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

TREŚĆ:

Przyczynek historyczny do zagadnienia rekrystalizacji, nap. J. Czochralski, Inż. naczelny.
O ciemnych pasmach na powierzchni wyrobów stalowych, obrobionych narzędziami tnącymi, nap. I. Feszczenko-Czopiński, Profesor Akademii Górniczej w Krakowie.
W sprawie zakładu wodociągowego dla przedmieścia Pragi w Warszawie, nap. L. Gembarzewski, Inżynier.
Płace premjowe wyrażone w jednostkach produkcji, nap. E. Hauswald, Profesor Politechniki Lwowskiej.
Przegląd pism technicznych.
Nekrologja.
Nowe wydawnictwa.
Sprawozdania i prace Polskiego Komitetu Energetycznego.

SOMMAIRE:

Contribution historique à l'étude du problème de la récrystallisation, par M. J. Czochralski, Ingénieur principal.
Sur les raies sombres à la surface des objets en acier, usinés au moyen des outils coupants, par M. I. Feszczenko-Czopiński, Professeur à l'Académie des Mines de Cracovie.
Sur les projets de la construction de l'usine d'alimentation en eau du faubourg Praga à Varsovie, par M. L. Gembarzewski, Ingénieur.
Salaires en fonction des unités de la production, par M. E. Hauswald, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Lwów.
Revue documentaire.
Nécrologie.
Bibliographie.
Bulletin du Comité Polonais de l'Energie

Przyczynek historyczny do zagadnienia rekrystalizacji.¹⁾

Napisał Jan Czochralski, Frankfurt n/M.

Wstęp.

Za założyciela nowoczesnej metalografii uważany jest słusznie Sorby. Pierwsze swe prace podstawowe¹⁾ o żelazie i stali wykonał on w r. 1864, jednakże pozostały one w zapomnieniu prawie przez 20 lat, kiedy to znani badacze zajęli się dalszym ich prowadzeniem. Niezależnie od tych prac, powstawała inna dziedzina metalografii, której historią mało się dobad interesowano. Dziedzina ta omawia zmianę struktury metali, zachodzącą pod działaniem wpływów termicznych, poza zmianami faz, zmianami polimorficznymi i zjawiskiem krystalizacji. Jako rzucającą się w oczy oznakę tego przebiegu, wymienimy przedewszystkiem grubokryształiczość, która zarówno dziś, jak i przedtem dawała podstawy do wyciągania ważnych wniosków. Każdy technolog zatem powinienby się żywo interesować możliwością poznania istoty tego zjawiska. Rozwój dotychczasowy tej nadzwyczaj ważnej gałęzi metalografii przedstawiał się jak następuje.

Zjawiska rekrystalizacji.

Już o parę lat wcześniej od Sorby'ego komunikuje (w r. 1858) Nogués²⁾ Akademii Paryskiej

¹⁾ Zestawienia sprawozdawcze prac ogłoszonych do końca 1921 r. Odczyt wygłoszony w Zw. Inżynierów w Berlinie.

²⁾ Sorby (1864). On a new method of illustrating the structure of various kinds of steel by nature printing. Proc. Sheffield Lit. Phil. Soc., Brit. Assoc. Rep. II., str. 189.

³⁾ Nogués (1858). Influence des hautes températures sur l'état moléculaire de certains corps. Comptes rendus 47 str. 832.

o interesującym wypadku zmiany budowy metalu, napewno zresztą nie pierwszym. Zauważył on mianowicie, że druty siatki platynowej o grubości 2—3 mm, wystawione na wielokrotne działanie redukującego płomienia gazu świetlnego, wykazują budowę krystaliczną. Że metale mają budowę krystaliczną, było już i wówczas rzeczą dobrze znaną, zjawisko jednak pozornie ponownej krystalizacji zdawało się dość rzadkiem, aby wywołać zainteresowanie niem kół naukowych. Nogués ustalił przy tej sposobności, że drut jest skrzystalizowany nie tylko na swej powierzchni zewnętrznej, lecz również w całym przekroju i zaznaczył, że występowanie tego zjawiska jest faktem niewątpliwym. Na podstawie swych spostrzeżeń, potrafił on nawet ustalić system krystalitów. Co najważniejsza, to że wyciągnął on ze swych obserwacji wnioski, iż wysoka temperatura oddziałuje na budowę molekularną platyny, co jest zresztą tylko do pewnego stopnia słuszne.

Od czasu tego pierwszego spostrzeżenia, w ciągu następnych 20 lat nie zaszło zdaje się żaden postęp w zakresie wiadomości o przekształcaniu się struktury metali. Dopiero w r. 1881 zdawał sprawozdanie Liebermann w niemieckim Tow. Chemicznem o spostrzeżeniach nieznanego wówczas w kółach naukowych badacza-metalografa S. Kalischer'a³⁾.

³⁾ Kalischer (1881). Ueber den Einfluss der Wärme auf die Molekularstruktur des Zinks. Ber. d. Deutschen Chem. Ges. rok 14, t. 2, str. 2747.

Kalischer zanurzał w pewnym celu paski cynkowe, pokryte z jednej strony grafitem, do roztworu siarczanu miedzi. Próbkę, dla lepszego przystawania masy grafitowej, były uprzednio lekko ogrzewane. Na wolnej od grafitu stronie pasków zauważył K. że wykazują one — po wytrawieniu — budowę krystaliczną.

Sądził on początkowo, że tę zmianę budowy należy przypisać zjawiskom galwanicznym. Dopiero gdy spostrzegł utratę dźwięczności metalu, wpadł na myśl, że to ciepło, którego działaniu poddawano próbki, było przyczyną omawianego objawu. Następnie ustalił, że jeśli próbki nie były nagrzewane uprzednio, to żadnego śladu krystalizacji nie dostrzegano.

Kalischer określił dalej zakres temperatur, w których cynk ulega przekształceniu budowy krystalicznej, i stwierdził już, że krystalizacja zachodzi w szerokim zakresie temperatur. Jako najniższą granicę wyznacza on temperaturę 150° , choć czasem niezbędne jest nagrzanie do t-ry od 160 do 170° . Atoli z innych spostrzeżeń (skrzywienie przy zginaniu) wydłaga wniosek, że krystalizacja zaczyna się jeszcze wcześniej niż staje się widoczną na powierzchni zewnętrznej i podaje jako temperaturę najniższą 130°C .

Ślady krystalizacji stwierdził on potem w żelazie, natomiast nic podobnego nie mógł doszperzeć w miedzi i glinie, uważał jednak swe obserwacje za nieukończone.

Niektóre jego wzmianki pozwalają przypuszczać, że zauważał on również pewien wzrost wielkości ziarn, następujący wraz ze wzrostem temperatury. Twierdzi on, że zaczynając od 150 — 170° krystalizacja staje się coraz wyraźniejszą, przy wszystkich temperaturach wyższych od tej granicy, aż do punktu topliwości, i że przy zastosowaniu wyższych temperatur kryształy zdają się być ukształtowane ostrzej, stają się niejako zindywidualizowane.

Ten wpływ wysokich temperatur na wielkość ziarn potwierdzają też później Charpy (1893)⁴⁾, Osmond (1893)^{4a)} i Heyn (1900)⁵⁾, przyczem ten ostatni ustala w r. 1902⁶⁾ wzrost wielkości ziarn kryształów miedzi w stosunku 1 : 1000.

Kalischerowi udaje się następnie wykryć nowy fakt, mianowicie zauważa on, iż objaw ten występuje tylko w cynku walcowanym. I jakkolwiek nie stawia on tego spostrzeżenia wyraźnie jako bezwarunkowy postulat, to jednak następujące okoliczności świadczą niedwuznacznie o takim właśnie zrozumieniu powyższego zjawiska. Mianowicie nie zadawał się on, jak Nogués, prostym stwierdzeniem faktu, że cynk zmienia swą budowę cząsteczkową pod działaniem ciepła, że wykazuje budowę krystaliczną, lecz daje jednocześnie wyjaśnienie pochodzenia tego zjawiska. Mówi on, że

przebieg mógłby być tak pojęty, że cynk traci podczas walcowania swą budowę krystaliczną, utworzoną w czasie krzepnięcia, i odzyskuje ją ponownie, jeśli zostanie nagrzany do temperatury wyższej, niż t-ra poprzedzającego walcowania. Dalej, że zjawisko ponownej krystalizacji występuje tylko w tych metalach, które swą strukturę krystaliczną straciły podczas walcowania.

Następnie dochodzi Kalischer do podstawowego wniosku, że cynk może się krystalizować w szerokim zakresie temperatur i że powstające kryształy są tem ostrzej zakreślone (a więc oczywiście tem większe), im wyższa jest zastosowana temperatura.

Uogólnienie.

Stwierdzeniem tych faktów nie zakończył Kalischer swych badań, jak to czynili jego poprzednicy, lecz już w r. 1882⁷⁾ ogłasza wyniki dalszych doświadczeń. Rozszerza on swe obserwacje na wszystkie niemal metale techniczne, mianowicie na kadm, cynę, żelazo, miedź, miedź-cynk, miedź-cynę, ołów, srebro, złoto, platynę, nowe srebro, nikiel, aluminium, kobalt i magnez.

Zupełnie podobne objawy, jak dla cynku, stwierdza dla srebra i złota, natomiast dla innych metali nie dochodzi do żadnych określonych wyników. Ujmuje uzyskane wyniki w słowa następujące:

„Stanem naturalnym metali — jest stan krystaliczny, może on być im wszakże odebrany pod wpływem działania mechanicznego, jednym łatwo, innym trudno, niektórym wcale, a następnie przywrócony ponownie, pod działaniem ciepła.”

Praca ta nie wykazuje więc w porównaniu z pierwszą żadnego postępu w kierunku teoretycznym, wzgl. tylko ten, że rozszerza na inne metale wyniki, otrzymane początkowo dla cynku. Wszystkie spostrzeżenia zasadnicze zawiera już pierwsza praca.

Godne uwagi są natomiast wyjątkowo dokładne dane innego rodzaju, jakie znajdujemy w obu pracach. Oto stwierdza autor, że krystalizacja pociąga za sobą ogólną zmianę wszystkich własności fizycznych, i ustala, iż ciężar właściwy wzrasta o $0,04\%$, a przewodność — o ok. 3% . Dokładne też dane znajdujemy o wytrawianiu z pomocą prądu elektrycznego. Jest rzeczą oczywistą, że Kalischer pierwszy zastosował tę metodę. Sądzi on również, że należy oczekiwać zmian także w zakresie własności elektromotorycznych i termoelektrycznych oraz przewodności cieplnej i ciepła właściwego, których dowiedzenie zastrzega sobie na później.

Ledebur⁸⁾ zauważył w r. 1883, że wzrost ziarn pozostaje nie tyle w zależności od wysokości temperatury, ile od czasu jej działania. Kalischer mówi tylko o zgrubieniu ziarn ze wzrostem temperatury (1881). Wpływ czasu wyżarzania ustala później (1893) m. in. Sauveur⁹⁾, a również Stead¹⁰⁾ (1898) (8—10-krotny wzrost ziarn) i Heyn⁶⁾

⁴⁾ Charpy (1893). Influence de la température de recuit sur les propriétés mécaniques et la structure du laiton. Comptes rendus, str. 1131.

^{4a)} Osmond (1893). Microscopic metallography. Trans. of the Am. Inst. of Mining Eng., t. XXII, str. 243.

⁵⁾ Heyn (1900). Die Umwandlung des Kleingelüses bei Eisen und Kupfer durch Formänderung in kaltem Zustande und darauffolgendes Ausglühen, Z. d. V. D. I., str. 433 i 503.

⁶⁾ Heyn (1902) Krankheiterscheinungen in Eisen und Kupfer. Z. d. V. D. I. t. II, str. 1115.

⁷⁾ Kalischer (1882). Ueber die Molekularstruktur der Metalle. Ber. d. D. Chem. Ges., roczn. 15, str. 702.

⁸⁾ Ledebur (1883). Freiburger Jahrbuch, str. 19.

⁹⁾ Sauveur (1893). Microstructure of Steel. Trans. of the Am. Inst. of Mining Eng., tom XXII, str. 546.

(1900). G. Charpy¹¹⁾ (1910) sądzi, że przy odpowiedniej temperaturze i dostatecznie długim czasie rekrytalizacji może się próbka zamienić w kośćcu na jeden jedyny kryształ.

Ledebur⁸⁾, jak również później Braune¹²⁾ (1885) i Wedding¹³⁾ (1885) stwierdzają występowanie krystalizacji po wyżarzaniu także w żelazie, Charpy¹⁾ (1893) — w mosiądzu walcowanym (zmniejszenie wysokości o 75%), czego się nie udało osiągnąć Kalischerowi.

Do badań swych stosował Ledebur żelazo kowalne o budowie włóknistej i stwierdził, że struktura włóknista przekształciła się na nierównomierne gruboziarnistą, co może być tylko tak zrozumiane, że kryształy utraciły przy przekształceniu swą wysmukłość; potwierdza to w r. 1893 także Sauveur⁹⁾ i w r. 1898 Stead¹⁰⁾, a potem — na przekonujących obrazach (1913) Moellendorff i Czochralski¹⁴⁾. Również Kerpely¹⁵⁾ zauważył jeszcze w r. 1876, że kryształy stają się wysmukłe (wydłużone) przy odkształceniu. W r. 1853 zdaje się to już spostrzegać Janoyer¹⁶⁾ przy badaniu przełomu, a potem potwierdzają to również w r. 1885 Wedding¹³⁾, w 1898 Stead¹⁰⁾ na bardzo odwęglonym żelazie, w r. 1894 Behrens¹⁷⁾ na mosiądzu i miedzi, w 1900 Heyn⁸⁾ — na miedzi.

Wedding¹³⁾ dochodzi w r. 1885 do przekonania, że przy małym wydłużeniu kryształy nie są rozrywane, zaś przy dużym wydłużeniu należy się liczyć z rozpadem kryształów o postaci włóknistej; tegoż zdania jest też (1894) Behrens¹⁷⁾ i zwłaszcza (1913) Moellendorff i Czochralski¹⁴⁾.

Sorby²¹⁾ używa w r. 1885 do oznaczenia zmiany struktury, zachodzącej przy rozciąganiu i wyrzaniu, wyrazu „rekrytalizacja”, o ile można wnosć z dostępnej nam literatury — po raz pierwszy. Sądzi on, że przebieg ten odegrywa główną rolę przy obróbce żelaza.

Sauveur⁹⁾ stwierdza w r. 1893, że wydłużenie ziarn jest tem większe, im w niższej temperaturze zachodzi obróbka, a więc i działanie wydłużenia cieplnego na strukturę.

Rekrytalizację cyny udało się spostrzec Behrens'owi w r. 1894. Poza tem dał on pewne dane liczbowe o granicach temperatury, w których może zachodzić rekrytalizacja. Najniższa temperatu-

ra dla cyny wynosi 110°, Ewing i Rosenhain²²⁾ podają w r. 1900 jako tę temperaturę 150°.

O innych metalach posiadamy dane następujące:

Ewing i Rosenhain (1902)²³⁾ ustalają, że rekrytalizacja ołowiu zachodzi już w zwykłej temperaturze, co potwierdza w r. 1903 Humfrey²⁴⁾.

O cynku czyni podobne spostrzeżenie Campbell²⁵⁾ w r. 1902. Rekrytalizacja ma się rozpoczynać w zwykłej temperaturze, gdy tymczasem Kalischer³⁾ (1881) podaje jako tę temperaturę 130°, Behrens¹⁷⁾ (1894) 220°, Timofeef^{30a)} (1914) 66° do temp. zwykłej, Fraenkel³⁰⁾ (1919) — 100°.

Dla cynku elektrolitycznego podaje Heyn²⁰⁾ (1912) jako najniższą temperaturę rekrytalizacji 220°, dla mniej czystego — 500°.

Dla żelaza podaje Stead¹⁰⁾ 600° jako t-rę najniższą, Heyn⁸⁾ (1900) 616°, Arnold²⁷⁾ (1894) 750°, Chappel²⁸⁾ (1915) 350°. Przy 400° mogą być jeszcze — wedł. Stead'a — dostrzegane zmiany strukturalne w żelazie, zaś przy 730—750° występuje maksimum wielkości ziarn, co potwierdza też Charpy¹¹⁾ w r. 1910.

Heyn⁸⁾ omawia w wyczerpującej pracy w r. 1900, łącznie ze znanymi już spostrzeżeniami, przebieg rekrytalizacji, przyczem praca jego odznacza się cennem ujęciem różnych zależności, przeprowadzonym w sposób systematyczny, w oparciu o dane liczbowe. W r. 1902 ustala on⁸⁾, w uzupełnieniu swego pierwszego badania, niektóre dalsze objawy rekrytalizacji, przytaczając znów odnośne dane liczbowe. Ważne jest m. in. stwierdzenie, że szybkość ochładzania od temperatury żarzenia nie ma znaczenia dla miedzi, w przeciwieństwie do żelaza.

Ewing i Rosenhain^{22/23)} stwierdzają w r. 1900 i 1902, że struktura lanej cyny pozostaje bez zmian we wszystkich temperaturach aż do punktu topliwości, wówczas gdy Moellendorff i Czochralski są jeszcze w r. 1913 tego zdania — jak i większość innych badaczy, — że nawet kryształy nieodkształcone tego metalu rosną podczas żarzenia. Jednak w r. 1916 potwierdza również Czochralski²⁹⁾ liczbowo dane Ewing'a i Rosenhain'a. To samo spostrzega w 1919 także Fraenkel³⁰⁾ na cynku, a później na próbkach bardzo czystego złota (ogłasza to dopiero w 1922 r. w Z. anorg. Chemie, t. 122,

¹⁰⁾ Stead (1898). The crystalline structure of Iron & Steel. The Journ. of the Iron & Steel Inst., T. I. str. 145.

¹¹⁾ Charpy (1910). Sur la maladie de l'écrouissage dans l'acier. Rev. de Mét., str. 655.

¹²⁾ Braune (1885). Gefügeveränderungen von Eisen und Stahl. Berg. u. Hüttenmänn. Ztg., str. 247.

¹³⁾ Wedding (1885). Eigenschaften hammerbaren Eisens auf der Basis seiner mikroskopischen Struktur. Berg. u. Hüttenmänn. Ztg., str. 255.

¹⁴⁾ v. Moellendorff i Czochralski. (1913). Technologische Schlüsse aus der Kristallographie der Metalle. Z. d. V. D. I., str. 931.

¹⁵⁾ v. Kerpely (1876). Die Textur des Eisens. Berg. u. Hüttenmänn. Ztg., str. 351.

¹⁶⁾ Janoyer (1853). Berg. u. Hüttenmänn. Ztg., str. 53.

¹⁷⁾ Behrens (1894). Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen. (książka), str. 70 i 106.

²⁰⁾ Robin (1913). Recherches sur le développement des grains des métaux par recuit après écrouissage. Rev. d. Mét., str. 722.

²¹⁾ Sorby (1885). Mikroskopische Struktur von Eisen und Stahl. Berg. u. Hüttenmänn. Ztg., str. 255.

²²⁾ Ewing i Rosenhain (1900). The Crystalline Structure of Metals. Phil. Trans. 193 A., str. 353.

²³⁾ Ewing i Rosenhain (1902). The Crystalline Structure of Metals. Metallographist V., str. 81.

²⁴⁾ Humfrey (1903). Effects of Strain on the crystalline structure of Lead. Phil. Trans. A. 200, str. 225.

²⁵⁾ Campbell (1902). Crystallisation produced in solid Metal by Pressure. Structure of Metals & binary alloys. Metallographist V., str. 57 i 306.

³⁰⁾ Heyn (1912) (książka). Materialienkunde 2 A., str. 213 i nast.

²⁷⁾ Arnold (1894). The Physical Influence of Elements on Iron. Iron & Steel Inst., I., str. 107.

²⁸⁾ Chappel (1915/16). Die Rückkristallisation von deformiertem Eisen. Ferrum XIII, str. 6.

²⁹⁾ Czochralski (1916). Metallographische Untersuchungen am Zinn und ihre fundamentale Bedeutung für die Theorie der Formänderung bildsamer Metalle. Int. Z. für Metallographie, str. 1.

³⁰⁾ Fraenkel (1919). Die Verfestigung der Metalle durch mechanische Beanspruchung. (książka).

str. 295). Dalej ustalają Ewing i Rosenhain, zgodnie z poprzednimi spostrzeżeniami Kalischer'a⁷⁾ z r. 1882, że dla rekrytalizacji metali przy wyżarzaniu konieczne jest uprzednie odkształcenie, co szczególnie podnoszą też w r. 1915 Chappel²⁸⁾, a w r. 1916 Czochralski²⁹⁾.

Później (1907) dochodzi też Campbell³¹⁾ i Portevin³²⁾ (1909) (por. pracę Grard'a³³⁾ do wniosku, że odkształcenie musi poprzedzać rekrytalizację.

Campbell sądzi jednak, jak również Robin³⁰⁾ w r. 1913, że grubość próbek także wywiera wpływ, natomiast Portevin³²⁾ reprezentuje pogląd, że grubość nie oddziałuje wcale, co potwierdza doświadczalnie Czochralski²⁹⁾ w r. 1916.

H. Le Chatelier bada w r. 1911 zjawisko rekrytalizacji na odciskach kulki i wypowiada zdanie, że największe kryształy powstają w żelazie w tych miejscach, gdzie zachodzi największy stopień odkształcenia.

Sauveur³⁵⁾ powtarza w r. 1912 przeprowadzone przez H. Le Chatelier'a próby rekrytalizacji na odciskach kulki. Dalej wykonywa także doświadczenia z próbkami zginanymi i skręcanymi. Dochodzi do wniosku, że wzrost ziarn następuje tylko w wąskim zakresie odkształcenia. Naprężenie $35,15 \text{ kg/mm}^2$ wywołuje dobrze uwidacznający się wzrost kryształów, wówczas gdy tylko nieznacznie mniejsze lub większe, mianowicie $33,39 \text{ kg/mm}^2$ i $36,90 \text{ kg/mm}^2$ — nie wywołują wcale wzrostu. W wynikach tych widzi ich autor dowód wąskich granic krytycznego zakresu odkształceń. Postępowej więc zależności wielkości ziarn od odkształcenia nie uznaje Sauveur, tak samo jak H. Le Chatelier.

Według danych Cohen'a i Hasslinger'a³⁶⁾ z r. 1910, rekrytalizacja ma zachodzić poza granicami odkształcenia, natomiast Robin³⁷⁾, a na podstawie jego danych również Humfrey²⁴⁾ (1903) są przeciwnego zdania.

Heyn²⁸⁾ stwierdza w r. 1912, że czas wyżarzania oddziałuje tylko początkowo szczególnie silnie i że jego wpływ staje się stopniowo coraz mniejszy, tak że krzywe, wyrażające zależność wielkości ziarn od czasu wyżarzania, zbliżają się asymptotycznie do pewnej wartości granicznej. Gdy stan ten

jest osiągnięty, to dalsze powiększenie ziarn może być osiągnięte tylko w drodze podwyższenia temperatury żarzenia. Robin atoli³⁰⁾ (1913) ustala na licznych materiałach (cyna, ołów, cynk, glin, miedź i żelazo) minimum wielkości ziarn w określonych temperaturach, co zresztą zdaje się opierać na mylnych obserwacjach.

Dalej ogłasza Heyn, że rekrytalizacja zaczyna się w tem niższej temperaturze, im wyższy był stopień odkształcenia, co też potwierdzają Chappel²⁸⁾ w r. 1915 i Czochralski²⁹⁾ w 1916.

Tammann³⁸⁾ dostrzega w r. 1912 przyczynę rekrytalizacji w naprężeniach powierzchniowych wydłużonych kryształów i przypuszcza, że siatka przestrzenna kryształów pozostaje przy odkształceniu nietkniętą. Zakłada on, że przebiegowi rekrytalizacji towarzyszy z jednej strony tworzenie się bardzo małych, nieorientowanych kryształów, co już wielu badaczy dostrzegało, z drugiej zaś strony przebieg polega na powstawaniu wielkich kryształów. Ten do pewnego stopnia paradoksalny pogląd dzielają do r. 1916 prawie wszyscy badacze.

Moellendorff i Czochralski¹⁴⁾ (1913) sądzą, w przeciwieństwie do Tammann'a³⁸⁾ (1912), że podczas odkształcenia zachodzi przemieszczenie najdrobniejszych cząstek i że przemieszczone najdrobniejsze cząstki, przy dostatecznym ruchu pod działaniem ciepła, odzyskują swe właściwe położenie krystalograficzne, co potwierdza — jak im się zdaje — zanikanie odbić światła od płaszczyzn poszczególnych kryształów i zdolność do wytrawiania figur krystalicznych. Poza tem potwierdza tą pracą w sposób pouczający znane już fakty i spostrzeżenia.

W r. 1914 sądzi Robin, że rekrytalizacja zaczyna się na granicach ziarn i paskach bliźniaczych, co również potwierdza w r. 1915 Chappel²⁸⁾, Rassow i Velde³⁹⁾ w 1920 oraz Carpenter i Elam⁴⁰⁾ w r. 1921.

M. Schwarz⁴¹⁾ zauważa w r. 1915 na miedzi, że często małe kryształy mogą wyprzeć duże, gdy tymczasem panowało dotychczas odwrotne zdanie.

Poza tem zajmuje się autor tej pracy rekrytalizacją pojedynczych kryształów, w zupełnie podobny sposób, jak Humfrey²⁴⁾ w swej pracy o ołowiu z r. 1903.

C. Chappel²⁸⁾ (październik—listopad 1915) omawia w wyczerpującej rozprawie rekrytalizację żelaza. Znaczenie tej pracy polega na tem, że uznaje ona konkretnie postęp, jaki zachodzi nie tylko pomiędzy temperaturą, czasem wyżarzania i wielkością ziarna, lecz również zależność pomiędzy

^{30a)} Timofeef (1914). Sur la récrystallisation du zinc écroui. Rev. d. Mét., XI, str. 127.

³¹⁾ Campbell (1917). Ueber die Gefüge der Metalle, deren Veränderungen durch Bearbeitung und Wärmebehandlung. Metallurgie, str. 801.

³²⁾ Portevin (1909). Influence des Traitements Thermiques sur les alliages de cuivre. Rev. d. Mét., str. 814.

³³⁾ Grard (1909). Sur la maladie de l'écrouissage dans l'acier. Rev. d. Mét., str. 655.

³⁴⁾ H. Le Chatelier (1911). Notes de Métallographie, Aciers de M. Charpy cristallisés par recuit après écrouissage. Rev. d. Mét., str. 367.

³⁵⁾ Sauveur (1912). Bemerkungen über das Wachsen der Ferritkristalle unterhalb ihres thermischen Umwandlungspunktes. Int. Verb. f. d. Materialprüf. der Techn. VI. Kongress.

³⁶⁾ Cohen i Hasslinger (1910). Physikalisch-chemische Studien am Zinn. Ztschr. f. phys. Chemie, XVIII, str. 214.

³⁷⁾ Robin (1914). Solidification, réseaux cellulaires et croissance des grains dans les métaux. Rev. d. Mét., str. 489.

³⁸⁾ Tammann (1912). Ueber die Aenderung der Eigenschaften bei der Bearbeitung von Metallen. Zft. f. Elektrochemie, str. 584.

³⁹⁾ Rassow i Velde (1920). Das Rekristallisationsdiagramm des Kupfers. Zeitschr. f. Metallkunde, str. 369.

⁴⁰⁾ Carpenter i Elam (1921). Die Rekristallisation des Aluminiums beim Erhitzen. Eng., str. 302.

⁴¹⁾ M. v. Schwarz (1915). Metallographische Studien. Int. Zeitschr. d. Metallogr. tom VII, str. 124.

stopniem odkształcenia i wielkością ziarna metalu rekrytalizowanego. Dalej stwierdza on, że rekrytalizacja odbywa się we wszystkich kierunkach próbki, w których nastąpiło przekroczenie granicy plastyczności; potwierdza to bezpośrednio potem Czochrański⁴⁰⁾, a w dalszej pracy łącznie z nim — Deutsch⁴²⁾.

Również zauważa Chappel rozwój kryształów od ośrodków amikroskopijnych, sądzi jednak wciąż jeszcze, że rekrytalizacja jest wynikiem dwóch przeciwnych dążeń, mianowicie rozpadu ziarn i ich wzrostu. Odrzuca on teorię naprężeń powierzchniowych i wypowiada przypuszczenie, że przyczyną rekrytalizacji jest wysokie napięcie pomiędzy cząstkami elementarnymi. Stan ten nazywa „Metakristalin“, nie łącząc jednak z tą nazwą określonego pojęcia. Praca ta stanowi nowy rozdział w tej dziedzinie metallografii.

(W miesiąc później (styczeń 1916 r.) potwierdza Czochrański w pracy niezależnej wyniki Chappell'a na cynie i buduje pierwszy wykres rekrytalizacji. Treść tej pracy dotyczy również poznania zależności pomiędzy wielkością ziarn a stopniem odkształcenia. Przebieg rekrytalizacji objaśnia autor na zupełnie analogicznem do krystalizacji zjawisku, przy którym wielkość ziarn rekrytalizowanych (RKG) ma to samo znaczenie co wielkość ziarn (KG) przy krystalizacji, a liczbie ziarn rekrytalizowanych (RKZ) — odpowiada liczba kryształów podczas krystalizacji (KZ). W pracy ogłoszonej w r. 1917 daje Czochrański⁴³⁾ nowy wykres przestrzenny zależności RKG od stopnia odkształcenia i temperatury oraz drugi — zależności liczby ziarn od tych samych czynników.

Rekrytalizacja nigdy nie zachodzi od razu w całej masie przemieszczonych kryształów, jeno zawsze rozpoczyna się od poszczególnych ośrodków (zarodków). Paradoksalne do pewnego stopnia ujęcie, że istota rekrytalizacji polega na rozpadzie ziarn i wzroście ziarn, znajduje w ten sposób proste wyjaśnienie.

Stead⁴⁰⁾ wypowiadał podobny pogląd już w r. 1898; twierdził bowiem, że reorganizacja ziarn zaczyna się w pojedynczych ośrodkach, które stopniowo wzrastają w danej temperaturze; atoli z tego spostrzeżenia autor nie wyprowadził dalszych wniosków.

Tammann⁴⁴⁾ podaje (1918 r.) pewne dane zasadnicze o nowem ujęciu przebiegu rekrytalizacji, prawie dosłownie, nie uwzględniając jednak ogłoszonej na 2 lata przedtem pracy Czochrańskiego.

⁴²⁾ Deutsch (1916). Die Mechanik des Fließens und die Metallographie. Int. Zeitschr. d. Metalllogr.

⁴³⁾ Czochrański (1917). Veränderung der Korngrösse und der Korngliederung in Metallen. Z. d. V. D. I., str. 345.

⁴⁴⁾ Tammann (1918). Ueber die Rekristallisation in Metallen. Nachr. d. Kgl. Ges. d. Wissensch. Math. phys. Klasse, Göttg.

Oberhoffer⁴⁵⁾ buduje w r. 1919, na podobieństwo wykresu rekrytalizacji cyny — nowy wykres dla żelaza elektrolitycznego i potwierdza naogół słuszność opracowanego dla cyny schematu rekrytalizacji. Stosując jednak dłuższy czas żarzenia, otrzymuje odchylenia, ważne z punktu widzenia technologicznego i wymagające jeszcze wyjaśnienia.

Rassow i Velde⁴⁶⁾ zestawiają w r. 1920 i 1921 nowe wykresy rekrytalizacji dla miedzi i glinu technicznego, które potwierdzają całkowicie wyniki uzyskane dla cyny.

Rzut oka wstecz.

Jeżeli rzucimy okiem na przytoczoną obszerą literaturę, to możemy stwierdzić z jednej strony, że zależności zachodzące pomiędzy wielkością ziarn, temperaturą rekrytalizacji i czasem były już wcześniej ujęte dokładnie. Na pierwszym miejscu, ze względu na badanie temperatury rekrytalizacji, należy postawić nast. nazwiska: Kalischer, Ledebur, Charpy, Heyn i in., pod względem czasu rekrytalizacji — Ledebur, Sauveur, Stead, Heyn, Charpy i in.

Natomiast, z drugiej strony, zależność wielkości ziarn od trzeciego, równie ważnego czynnika, mianowicie stopnia odkształcenia nie została z żadnej strony wzięta pod uwagę; owszem, pomiędzy innymi Kalischer, Ewing i Rosenhain, H. Le Chatelier, Sauveur i Robin zrobili początek w tym kierunku, żaden jednak autor nie pomyślał o zależności postępowej wielkości ziarn, od stopnia odkształcenia. Ewing i Rosenhain (1902) mówią nawet, że ustalenie ścisłej zależności jest niemożliwe. Największe przybliżenie do tej możliwości daje założenie doskonałego zgniotu, jakie czynią H. Le Chatelier, Sauveur i — wedł. ich danych — Humfrey.

Pierwszy krok ku poznaniu znaczenia stopnia odkształcenia, jako pierwszorzędного czynnika, czynią dopiero Chappel i autor. Dopiero przez poznanie tego czynnika stało się możliwe wprowadzenie porządku w bezład danych, które stwierdzały minimum wielkości ziarn to przy niskich, to przy średnich, to przy wysokich temperaturach, to znów przy doskonałym stopniu zgniotu, to wreszcie przy określonej grubości próbek, a zatem prowadziły do przeczących sobie wyników. Wszystko to stało się zrozumiałe, gdy się wzięło pod uwagę pominęty dotąd czynnik, stopień odkształcenia. Wówczas więc, gdy technolog nie miał przedtem żadnego środka, zapomocą którego mógłby oddziaływać planowo na wielkość ziarn, to obecnie, przez nową zdobycz wiedzy, uzyskał tę możliwość.

⁴⁵⁾ Oberhoffer i Oerfell (1919). Die Rekristallisation des Eisens, Stahl. u. Eisen, str. 1061.

⁴⁶⁾ Rassow i Velde (1921). Das Rekristallisationsdiagramm d. Aluminiums. Zeitschr. f. Metallk., str. 557.