Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000297755

STANISŁAW ANCZYC
PROFESOR POLITECHNIKI LWOWSKIEJ

BADANIA METALOGRAFICZNE W ZASTOSOWANIU FABRYCZNEM

KSIĄŻNICA-ATLAS
ZJEDNOCZONE ZAKŁADY KARTOGRAFICZNE I WYDAWNICZE
TOW. NAUCZ. SZKÓŁ ŚREDN. I WYŻSZ., SP. AKC.
LWÓW — WARSZAWA
1926

KSIĄŻNICA-ATLAS T. N. S. W.

LWÓW, UL. CZARNIECKIEGO 12 — WARSZAWA, UL. NOWY ŚWIAT 59

poleca:

E. Geisler

OBRABIARKI DO METALI I PRACA NA NICH

CZ. I i II. SKRAWANIE METALI. MECHANIZMY OBRABIAREK

Str. VIII + 208. — Zł. 7·20.

Jest to podręcznik, nieodzowny dla studentów, techników i inżynierów technologów i konstruktorów.

H. Mierzejewski

METROLOGJA TECHNICZNA

Str. VI + 206 z licz. ilustr. i rys. — Zł. 9·—.

Treść: Przedmowa. — Pasowanie wałków i długości. — Pasowanie gwintów. — Narzędzia miernicze. — Specjalne metody miernicze. — Wiadomości z optyki geometrycznej. — Maszyny miernicze i podziałkowe. — Metody interferencyjne. — Wyznaczenie metra w długości fali świetlnej. — Bibljografja. — Skorowidz.

S. Niedzielski

TABLICE WSPÓŁRZĘDNYCH GEODEZYJNYCH

Zł. 6·—.

W. Mozer

BUDOWA PAROWOZÓW

TOM I. CZĘŚĆ OGÓLNA.

Str. VIII + 188. Z 148 rysunkami i 5 tablicami. — Zł. 9·—.

„Szkicowo oceniając,... dzieło jest projektowane na europejskiej podziałce... Strona rysunkowa przedstawia się bardzo dobrze, tablice znakomicie wykonane... Dzięki wysiłkom wydawniczym... dzieło wypadło okazale".

(E. K. w „Kurjerze Lwowskim", nr. 125 z r. 1924).

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

100000297755

3
9
k

BADANIA METALOGRAFICZNE W ZASTOSOWANIU FABRYCZNEM

STANISŁAW ANCZYC
PROFESOR POLITECHNIKI LWOWSKIEJ

BADANIA METALOGRAFICZNE W ZASTOSOWANIU FABRYCZNEM

WYDANIE DRUGIE

KSIĄŻNICA-ATLAS
ZJEDNOCZONE ZAKŁADY KARTOGRAFICZNE I WYDAWNICZE
TOW. NAUCZ. SZKÓŁ ŚREDN. I WYŻSZ., SP. AKC.
LWÓW — WARSZAWA
1926

2076

BIBLIOTEKA
KRAKÓW
Politechniczna

II 6284

Klisze, skład i druk wykonano w Zakładach graficznych Sp. Akc. „Książnica-Atlas“ we Lwowie.

Akc. Nr. 1244/51

Słowo wstępne.

Z przedmowy do pierwszego wydania (1917).

Chcąc poznać dokładnie własności materjałów konstrukcyjnych, z jakiemi mamy do czynienia, przedsiębierze się badania mechaniczne i chemiczne; pierwsze z nich wymagają bardzo kosztownych maszyn i urządzeń, jakie posiadać mogą tylko zakłady naukowe, bardzo wielkie zakłady przemysłowe, a zresztą mają je nieliczne, utrzymywane przez państwo zakłady doświadczalne; drugie wymagają należycie urządzonego laboratorjum i doświadczonego chemika-analityka, i dlatego spotyka się je znów tylko w wielkich zakładach.

Oba rodzaje badań uzupełniają się nawzajem, i jedno bez drugiego często nie jest wystarczające.

W ostatnich latach coraz bardziej rozwija się trzeci rodzaj badań metali drogą mikroskopową i staje jako trzeci dział badań, uzupełniający dwa poprzednie.

Badania te nie wymagają tak kosztownego urządzenia, a w wielu wypadkach dają same z siebie cenne dla praktyki wskazówki o własnościach badanego materjału.

Celem niniejszej pracy jest dać obraz dzisiejszego stanu tych badań i umożliwić technikom maszynowym ich wykonywanie. Podstawą musi tu być gruntowne wykształcenie technologiczne, znajomość materjałów i ich przeróbki, inaczej badania nie doprowadzą do celu, a mogą nawet wprowadzić na błędną drogę. Potrzebna jest także pewna wprawa laboratoryjna, którą każdy pracownik powinien dziś wynieść ze szkoły.

Badania, o których mówić będziemy, dają w wielu razach wyniki zupełnie pewne, w wielu jednak tylko wskazówki lub domysły, dające się potwierdzić przez badanie mechaniczne lub chemiczne; wymagają one także doświadczenia, jakie daje dłuższa praca, dlatego początkujący, spotykając się z trudnościami i wątpliwościami, niech się niemi nie zraża, ale przez pracę niech wyrobi sobie potrzebną wprawę, zaczynając od łatwych wypadków.

Badania opisane w tem dziełku obejmują tylko zagadnienia związane z praktyką inżyniera, nie obejmują zaś badań naukowych z za-

kresu metalografji, wymagających głębszego przygotowania teoretycznego, dodatkowych metod badania i stosownych urządzeń.

Przedmowa do drugiego wydania.

Przystępując do drugiego wydania podręcznika oddawna już wyczerpanego, opracowałem go zupełnie na nowo. Złożył się na to i znaczny materjał badawczy, zebrany przez szereg lat i doświadczenie w wieloletniem prowadzeniu ćwiczeń studenckich w tutejszym zakładzie, wymagające pewnych zmian w ujęciu przedmiotu. To też dziełko w obecnej postaci w bardzo małym stopniu przypomina pierwsze wydanie, tak co do treści, jak i ilustracyj; fotografje struktur makro- i mikroskopowych są zupełnie nowe, i bez żadnego wyjątku pochodzą z Zakładu Technologji mechanicznej Politechniki Lwowskiej; liczba ich zwiększyła sią znacznie.

Opracowując na nowo „Badania“, pominąłem opis procesów technologicznych, powodujących powstawanie omawianych struktur. Nie było na to miejsca, zresztą pracownik przystępujący do badań winien posiadać dokładną znajomość materjału i jego przeróbki, i znać typowe obrazy struktury; — bez tego niepodobna wogóle myśleć o możności badania choćby z najskromniejszym wynikiem[1]).

Pominięto również szczegółowe obrazy i opisy mikroskopów metalograficznych, bo liczba typów wyrabianych przez pierwszorzędne fabryki jest nato za duża; z tego samego powodu pominięto również opis urządzeń do robót przygotowawczych. Opisy takie, o ile dotyczą maszyn, są zbyteczne dla inżynierów i techników maszynowych lub metalurgów, a tylko tacy zajmują się badaniami; do zrozumienia działania mikroskopu wystarczają szkice schematyczne, kupując zaś mikroskop metalograficzny, otrzymuje się z fabryki bardzo szczegółowe rysunki i opisy przyrządu, oraz instrukcje, jak się z nim należy obchodzić.

Na końcu wyrażam serdeczne podziękowanie moim gorliwym współpracownikom w Zakładzie Lwowskim: adjunktowi inż. Wł. Wrażejowi i asystentowi inż. L. Czajce za pomoc w wyborze i przygotowaniu okazów, temu ostatniemu nadto za wykonanie z nich zdjęć fotograficznych.

Gorące podziękowanie wypowiadam Nakładcy, — Spółce Akcyjnej „Książnica-Atlas“ za gotowość, aby zewnętrzna postać ksiażki była, bez względu na koszta, jak najlepsza.

St. Anczyc.

---

[1]) Pragnących obznajomić się bliżej z temi sprawami odsyłam do mojej książki p. t. „Żelazo“ (Lwów 1926).

Spis rzeczy.

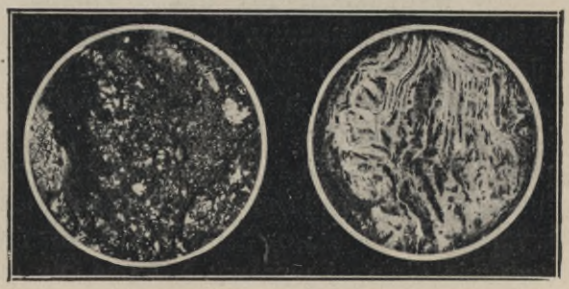
	Str.
Wstęp	1
Przygotowanie prób do badania	3
Wybór próby	3
Ucinanie prób	4
Szlifowanie	5
Polerowanie	7
Natrawianie	7
Mikroskop metalograficzny	8
Konstrukcja	8
Powiększenia	8
Fotografowanie	11
Badania makroskopowe żelaza	11
Natrawianie prób	12
Odczynnik Heyna	12
Odczynnik Lwowski	13
Odczynnik Oberhoffera	14
Sposób Baumanna	14
Zastosowanie badań makroskopowych	14
Żelazo pudlarskie	16
Żelazo zlewne	16
Ucinanie, wyrób otworów	16
Połączenia zgrzewne	18
Połączenia stopne	18
Wyrób rur	18
Przeróbka kuźnicza	18
Gruboziarnistość	20
Pęknięcia	20
Badania mikroskopowe żelaza	20
Natrawianie	20
Kwas azotowy	22
Kwas solny	22
Kwas pikrynowy	22
Pikrat sodowy	23
Żelazo węgliste	23
Ferryt	23
Perlit	23
Cementyt	24
Zawartość węgla	25
Odróżnianie rodzajów żelaza	29
Żelazo pudlarskie	29
Postać żużla	29
Struktura	30
Żelazo zlewne	30
Postać żużla	30
Tlenki	32
Stale specjalne	32
Struktura stali austenitycznych	32
Struktura karbidyczna	32
Odlew stalowy	32
Przeróbka mechaniczna	34
Przeróbka gorąca	34
Przeróbka zimna (zgniot)	36
Wpływ ogrzewania	36
Przegrzanie	36
Przepalenie	38
Odwęglenie	40
Hartowanie	40
Stal węglista	40
Stal szybkotnąca	44
Odpuszczanie	46
Troostyt	46
Sorbit	46
Nawęglanie	47
Przymieszki	48
Złącza	48
Zgrzewanie	49
Stapianie	50
Pęknięcia	50
Żelazo lane (żeliwo)	52
Grafit	53
Siarka	53
Fosfor	54
Surowiec biały	56
Twarda leizna	56
Kujna leizna	57
Błędy obserwacji mikroskopowej	60
Przykłady badania	62
Drążek wiertniczy	62
Odlew żeliwny	65

Wstęp.

Badania struktury metali polegają na oglądaniu okiem nieuzbrojonem lub przy pomocy mikroskopu — metalu tak przygotowanego, by można było rozpoznać jego budowę krystaliczną lub zauważyć charakteryzujące go cechy.

Przygotowawcza obróbka jest niezbędna, gdyż bez niej metal wykazuje bardzo mało znamion, pozwalających wyprowadzić jakiekolwiek wnioski o nim; żelazo jest np. zwykle pokryte warstwą zendry (tlenku), wytworzonej podczas przeróbki, gdy było rozżarzone, a nawet jeżeli jest obrobione i posiada czystą, metaliczną powierzchnię, przedstawia się oku jako ciało jednolite. Niekiedy na takiej powierzchni można zauważyć, bez użycia mikroskopu, skazy, np. pęknięcia wywołane uderzeniem, nagłem oziębieniem, gdy metal był rozgrzany, nieumiejętną obróbką i t. p., jednak dopiero po przygotowawczej, celowej obróbce występują wyraźniej te oznaki, a obok nich inne, poprzednio niewidoczne, umożliwiające badaczowi lepsze wglądnięcie w ustrój metalu.

Jedynym sposobem badania, stosowanego bezpośrednio, bez poprzedniego przygotowania, jest oglądanie metalu w przełomie — ono jednak tylko w rzadkich wypadkach pozwala wydać sąd trafny, a zresztą — odpowiednio do sposobu wykonania przełomu, — może nasunąć bardzo sprzeczne wnioski o materjale. Na rys. 1 (strona lewa) widzimy obraz przełomu pręta z żelaza pudlarskiego i jego obraz makroskopowy (strona prawa) w tem samem położeniu; jakkolwiek można się dopatrzeć pewnej analogji między obydwoma obrazami, to jednak przełom z powodu miejscowych pęknięć, zgnieceń i nierówności powierzchni, nie daje tak jasnego jak makroskopja wyobrażenia o rozkładzie pasem żużla, co w żelazie pudlarskiem jest rzeczą najważniejszą.



Rys. 1 (× 1).

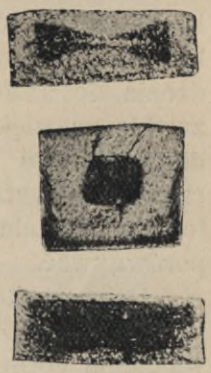
Rys. 2 daje przykład rozpoznania pewnego stanu wprost z przełomu. Są to przełomy sztabek stali przeżarzonej; wskutek wydzielenia się węgla żarzenia z cementytu, zabarwia się ośrodek na czarno w sposób tak wydatnie odbijający od jasnych brzegów przełomu, że pozwala rozpoznać nietylko proces daleko posunięty (*B* i *C*) ale także nawet jego zaczątek (*A*).

Naogół, nawet wtedy, gdy obraz przełomu pozwala wyprowadzić wnioski zgodne z rzeczywistością, ścisłość ich zostawia wiele do życzenia, np. w wypadkach gdy mamy do czynienia z pewnemi rodzajami surowca żelaza. Po barwie i strukturze listkowej można rozpoznać surowiec biały, natomiast o szarym, mimo jego barwy i ziarnistości, nie możemy powiedzieć, czy obok miękkiego grafitu nie zawiera wolnych ziarn twardego karbidu. Na przełomie twardej leizny (rys. 3) możemy dokładnie odróżnić u góry jasną warstwę twardego surowca białego, u dołu ciemną miękkiego szarego żeliwa, a między niemi pośrednią, stanowiącą przejście od białego do szarego składnika; w jakiej jednak postaci wydzielony jest węgiel w tej przejściowej warstwie, czy rozgałęziony w długie a wąskie pasma, czy w postaci gniazdowatych skupień, dla materjału korzystniejszych, tego z przełomu niepodobna ocenić, to można rozeznać tylko w badaniu mikroskopowem próby, odpowiednio przygotowanej.

Badania można wykonywać okiem nieuzbrojonem, wtedy zowiemy je makroskopowemi, lub w powiększeniu, przy pomocy mikroskopu, są to badania mikroskopowe. W pierwszych, przygotowawszy należycie próbę, możemy, nie posiadając mikroskopu metalograficznego, wydawać trafne i w wielu razach wystarczające sądy o materjałach. Mają te badania tę wyższość nad mikroskopowemi, że pozwalają oglądać naraz większą powierzchnię i przez to lepiej osądzić jednolitość materjału niż tamte, ograniczające się na obejrzeniu bardzo małej naraz powierzchni. Badanie makroskopowe może też dać wskazówki, w jakim kierunku mają być prowadzone dalsze badania (np. mechaniczne, chemiczne, mikroskopowe).

W wypadkach, gdy trzeba wniknąć w istotę materjału, rozpoznać składniki jego budowy, ich zmiany i t. p. tam badanie makroskopowe nie wystarcza, bo składniki, z jakich metale są zbudowane t. z. ziarna, mają tak małe rozmiary, że dopiero w powiększeniu przynajmniej kilkudziesięciokrotnem dają się rozróżnić i rozpoznać. W tych więc wypadkach, gdy badanie polega na rozpatrzeniu i rozróżnieniu elementów budowy metalu, nie można się obejść bez badania mikroskopowego, wymagającego stosownego i kosztowniejszego urządzenia, a zarazem znacznie dłuższej wprawy, niż badanie makroskopowe.

Przygotowanie prób do badania.



Rys. 2 (× 1).

Zarówno badania makro- jak i mikroskopowe wymagają, by próby miały powierzchnię wygładzoną; dla oglądania jej w wielkiem powiększeniu (przy użyciu mikroskopu) gładkość musi być jak największa, co osiągamy przez polerowanie do połysku zwierciadlanego. Próby do badań makroskopowych nie potrzebują zwykle tak wielkiej gładkości, poprzestajemy tam na pewnym stopniu oszlifowania, zależnym od wymagań stosowanej metody natrawiania, wyjątkowo tylko potrzebne jest polerowanie.

Wybór próby. Pierwszą czynnością jest umiejętne i celowe wybranie próby z badanego przedmiotu. Badanie makroskopowe wymaga powierzchni większej, pozwalającej osądzić jednolitość materjału; będzie to więc albo przekrój poprzeczny całej walcówki, wału, rury i t. d., albo pewne części charakterystyczne, wycięte z całości. O ile chodzi o badanie blachy, walcówki w kierunku walcowania i t. p. wybiera się przecięcie podłużne okazu o długości kilku, czasem kilkunastu centymetrów; gdy rozmiary przedmiotu są małe (nit, śruba), przecina go się w całości.

Rys. 3 (× 1).

Inaczej jest przy badaniu mikroskopowem, gdzie oglądamy w powiększeniu bardzo małą powierzchnię okazu, tu wystarcza nawet milimetr kwadratowy, nawet często jego mały ułamek; ze względu na dogodność przygotowania próby i potrzebę zbadania materjału w kilku miejscach, dla poznania jej jednolitości i pewnych cech charakterystycznych, przygotowujemy powierzchnię większą, zwykle 1—4 cm^2.

Materjał do zbadania mikroskopowego otrzymujemy w różnej postaci, rzadko w małym kawałku, stanowiącym w całości przedmiot badania, częściej w rozmiarach większych np. uszkodzoną część maszyny (odlaną, kutą, obrobioną), większy kawałek materjału surowego (walcówkę, blachę, rurę, drut), narzędzie (nóż, gwintownik, frez) i t. d. Z przedmiotu takiego trzeba odłączyć jedną lub kilka próbek, odpowiednio do jego rodzaju, kształtu i celu badania. Próby winny być tak wybrane, aby dawały najlepszy obraz całości badanego przedmiotu, albo wzięte były z miejsca uszkodzenia, którego przyczynę mamy wykryć.

Dzisiejsze mikroskopy pozwalają na badanie w jednym kawałku przekroju dość dużych przedmiotów np. szyny kolejowej. Że jednak urządzenia do szlifowania, polerowania i natrawiania prób nie pozwalają zwykle na większe wymiary okazu, a przygotowanie takich prób trwa długo i bywa często trudne, dzieli się zwykle większy przedmiot na części, lub wycina z niego w różnych miejscach próby, każdą przygotowuje oddzielnie i w razie potrzeby numeruje, aby móc przy badaniu porównywać.

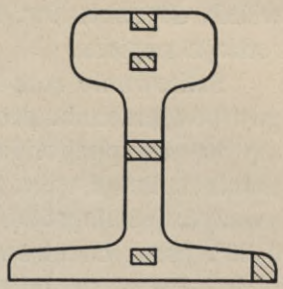
Dobrą wskazówkę jak wybrać próby daje kształt całego okazu; np. w szynie kolejowej (rys. 4) wyjmujemy dwie próby z głowicy t. j. z powierzchni górnej i ze środka, ponadto z nóżki i stopy. Bardzo dobre oddać tu może usługi obraz makroskopowy całego przekroju szyny, bo wtedy wybiera się próby z miejsc najbardziej charakterystycznych i odmiennych.

Wymiary próby, wyciętej z większego kawałka, są najczęściej kwadratowe, o długości boku 1—2 *cm*, grubość dogodna do trzymania podczas szlifowania wynosi 1—1½ *cm*. Jeżeli przedmiot jest bardzo mały, cienki, niekształtny (drut, cienka blacha, wióry, okruchy), wtedy należy dać mu oprawę, odpowiednią do kształtu, dogodną do ujęcia, i razem z nią próbę szlifować. Blaszkę cienką można więc przymocować do drewienka zapomocą stopionej żywicy (laku, szelaku), drut owinąć blachą miedzianą lub ująć w zgiętą blachę i przez zaklepanie osadzić w niej niewzruszenie, podobnie jak mały skrawek blachy (rys. 5*A*). Okaz można zatopić w inny łatwo topliwy metal (*B*) w foremce dogodnego kształtu np. tygielku porcelanowym. Do małych, niekształtnych próbek (okruchów) dogodne jest zatopienie w żywicy (laku, szelaku, gumlaku) przy użyciu krótkiej, wąskiej rurki mosiężnej, jako osady (*C*), w której na równej podstawie z żelaza, marmuru i t. p. układa się okaz i zalewa, a następnie szlifuje, poleruje i natrawia w roztworach bezalkoholowych, które żywicy nie rozpuszczają. Drut można w kilku kawałkach związać w grubszą wiązkę, dającą się dogodnie uchwycić, podobnie kilka kawałków cienkiej blachy złożyć ze sobą i okręcić drutem. Pomysłowość badacza pozwala zawsze znaleźć odpowiedni a najprostszy sposób, umożliwiający wygodne trzymanie próbki obrabianej.

Ucinanie prób. Używa się do tego piłki stalowej, ręcznej lub przy większych okazach mechanicznej, prostej, dobrze prowadzonej, aby klinga poruszała się w jednej płaszczyźnie i wytwarzała gładki przekrój. Z tego powodu piły krążkowe, chociaż szybciej pracujące, nie są godne zalecenia z powodu drgań; są zresztą grubsze i wycinają niepotrzebnie zbyt szerokie szczeliny w przedmiocie.

Ucinanie dłutem, nożycami, na zimno, jest niedopuszczalne, gdyż wywołuje zmiany struktury. Tak samo niedopuszczalne jest ogrzewanie próby do ucięcia.

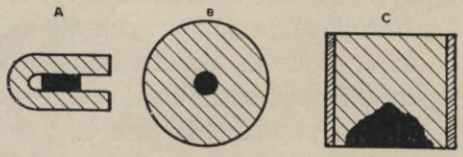
Jeżeli powierzchnia jest po ucięciu nierówna albo przedmiot jest za cienki, by można było z niego próbę odciąć, wymaga natomiast wyrównania jednej powierzchni, można obrobić taką powierzchnię na strugarce, a następnie wygładzić na szlifierce o tarczy płaskiej lub na pilniku. Pilnik najlepiej utwierdzać nieruchomo w imadle i po jego powierzchni posuwać próbę, unika się przez to wytworzenia powierzchni nierównej.



Rys. 4.

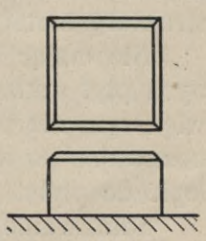
Gdy próba jest już gotowa, zbiera się jeszcze pilnikiem jej brzegi (rys. 6), aby nie były ostre i nie zaczepiały o papier szmirglowy lub sukno podczas polerowania. Tego zabiegu należy zaniechać, jeżeli krawędź próby przedstawia miejsce wymagające zbadania, np. stanowi miejsce zdeformowane zimną obróbką, odwęglone, brzeg pęknięcia, będącego przedmiotem badania i t. p.

Jeżeli przedmiot jest bardzo twardy (np. stal zahartowana lub surowiec biały), tak, że nie można go uciąć piłką, można uderzeniem młotka odbić kawałek; gdy to jest niemożliwe lub niedopuszczalne, można uciąć próbę piłą o zużytych zębach, między które nakłada się proszek szmirglowy, zarobiony oliwą na gęstą pastę. Jest to operacja bardzo mozolna, zastąpić ją może piła, wyłożona okruchami djamentu, — rzadko które laboratorjum ją posiada. Mogąc się posłużyć młotem mechanicznym, można przedmiot twardy (o ile jest kruchy, np. surowiec biały) rozkruszyć silnem uderzeniem i w zebranych okruchach znaleźć kawałek odpowiedni do badania.



Rys. 5.

Szlifowanie próby. Jest to czynność następująca po wyrównaniu wstępnem powierzchni próby. Służą do tego papiery lub płótna szmirglowe o różnej grubości ziarn. Tę czynność można wykonywać mechanicznie lub ręcznie. Do pierwszego, znacznie szybszego sposobu, używa się krążków drewnianych lub (lepiej) żelaznych, obracających się na poziomej osi z napędem transmisyjnym lub elektrycznym. Krążki drewniane wyrabia się z kilku warstw, aby się nie paczyły; na krążki nakleja się papier szmirglowy w sposób bardzo staranny, aby nie było żadnych nierówności, które utrudniają poprawne szlifowanie. Należy mieć do rozporządzenia tyle krążków, dających się szybko wymieniać (przez wkręcanie na nagwintowany koniec osi), ile rodzajów papieru stosuje się do kolejnego szlifowania. Odnosi się to oczy-



Rys. 6.

wiście do zakładów, które nie posiadają osobnych szlifierek do każdego rodzaju papieru.

Szlifowanie rozpoczyna się od papieru o grubem ziarnie, poczem, gdy powierzchnia próby jest zupełnie jednostajnie obrobiona, przechodzi się do następnego. Przy szlifowaniu na następnym papierze muszą zupełnie zniknąć rysy, powstałe na poprzednim, co się daje najlepiej zauważyć, jeżeli próbę, przed każdem następnem szlifowaniem, obrócimy o 90°, przez co nowe ślady otrzymują kierunek prostopadły do poprzednich i dadzą się łatwo odróżnić od nich.

Po ukończeniu roboty na jednym papierze, należy próbę dokładnie opłókać w prądzie wody (pod kurkiem wodociągu), aby nie zostały na niej ziarnka szmirglu z poprzedniego papieru, które wytwarzając głębsze rysy, czynią pracę na mielszym papierze bezcelową.

Papiery odpowiednio do grubości ziarn są znaczone numerami, przyczem najgrubsze noszą liczbę największą, drobniejsze coraz niższe, bardzo miałkie są znaczone: 0, 00, 000, 0000. Używany w laboratorjach bardzo dokładnie sortowany papier marki „Hubert“, a także papiery innego, byle pierwszorzędnego pochodzenia, znaczone są w sposób następujący: 3, 2, 1G, 1M, 1F, 0, 00, 000, 0000. Szlifowanie żelaza do badania mikroskopowego rozpoczyna się od papieru nr. 2, przechodzi kolejno aż do nr. 0, poczem jeszcze szlifuje się na nr. 00, napuszczając go lekko czystą oliwą. Do makroskopji, — zależnie od metody, poprzestaje się zwykle na papierze 1F lub 0.

Opisana metoda, dająca dobre wyniki, zabiera dosyć dużo czasu, dlatego obok niej, bywają używane także inne; można zacząć odrazu od papierów mielszych (np. 1M), co zaoszczędza krążków z grubszemi papierami ale wymaga dłuższego szlifowania na papierze pierwszym, aby zebrać całą grubo obrobioną warstwę po pilniku lub krążku szmirglowym. Inna metoda stosuje szlifierkę z krążkiem szmirglowym o drobnem ziarnie, umieszczając go w naczyniu napełnionem wodą i szlifując na mokro, co zapobiega rozgrzewaniu się próby. Oszlifowaną próbę obrabia się następnie na papierach, zaczynając od nr. 1F aż do 00.

Próby nie należy przyciskać silnie do papieru, bo wtedy powstają głębsze żłobki, a próba rozgrzewa się, co ze względu na możliwą zmianę struktury materjału (np. stali hartowanej) jest niedopuszczalne.

Nie mając szlifierki z tarczami oklejonemi papierem, używa się grubych płyt szklanych lub żelaznych, gładko obrobionych, o formacie nieco większym niż papier szmirglowy; na nich kładzie się papier i szlifuje, posuwając po nim próbę. Papier można po rogach lub w całości przylepić do płyty.

Szlifowanie ręczne trwa nieco dłużej, ma jednak zaletę, że nie wymaga mechanicznego urządzenia, a odbywając się z mniejszą szybkością,

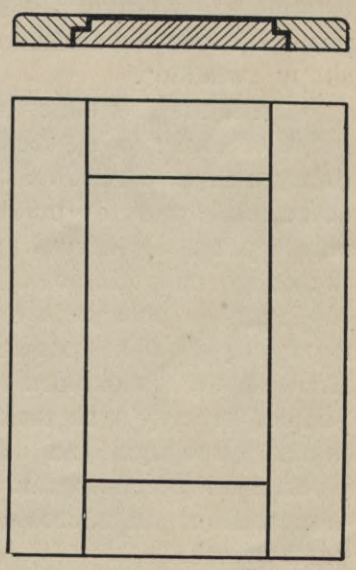
daje mniej sposobności do wytworzenia na powierzchni badanej głębszych rys, jakie zabłąkane grubsze ziarno szmirglu spowoduje prędzej przy szlifowaniu maszynowem.

Polerowanie. Przygotowana przez szlifowanie próba podlega następnie polerowaniu aż do osiągnięcia zwierciadlanej gładkości i połysku. Odbywa się to na obracającym się szybko krążku metalowym, na którym jest napięte miękkie, cienkowełniste sukno, z gęstym a krótkim włosem. Do polerowania używa się bardzo miałkiego, osadzonego z zawiesiny wodnej proszku tlenku glinowego (Al_2O_3), który, rozrobiony z wodą, sprzedają zakłady, dostarczające przyborów do badania metali. Pewną ilość dobrze rozmąconej takiej zawiesiny rozwodnia się jeszcze bardziej i rozpyla na obracający się krążek zapomocą gumowego rozpylacza. Poleruje się, przykładając powierzchnię próby lekko do wirującego sukna, — za silne przyciskanie może wywołać rysy. Gdy powierzchnia stanie się zupełnie gładką, przerywa się polerowanie, a próbkę dokładnie płucze i osusza.

Oprócz tlenku glinowego używane bywają także inne środki np. róż polerski (tlenek żelazowy, Fe_2O_3), jakiego używają złotnicy. Sukno na krążku zdjętym z osi, należy wtedy zwilżyć mocno wodą, posypać obficie proszkiem, i zapomocą szczoteczki wetrzeć go w sukno. Polerowanie trwa dłużej, a palce zanieczyszczają się różem.

Środek stosowany do polerowania nie powinien zasychać na suknie, dlatego po robocie, a przy pracy ciągłej przynajmniej raz w ciągu dnia, powinno być sukno zmyte strumieniem wody przy pomocy szczotki.

Nie mając polerki mechanicznej, można polerować ręcznie; w tym celu na deseczkę (25×15 *cm*) sklejoną z kilku warstw, aby się nie paczyła, napina się sukno zapomocą dobrze przylegającej ramki (rys. 7), i posługując się różem, poleruje, przesuwając próbę po suknie.



Rys. 7.

Natrawianie. Wypolerowaną próbę należy obejrzeć pod mikroskopem, bo na nietrawionej próbie występują wyraźnie niemetaliczne zawartości (grafit, żużel, tlenki, siarczki i t. p.), które podczas polerowania nie nabierają połysku. Następnie poddaje się próbę natrawianiu w odpowiednim odczynniku, o czem będzie mowa w dalszym ciągu.

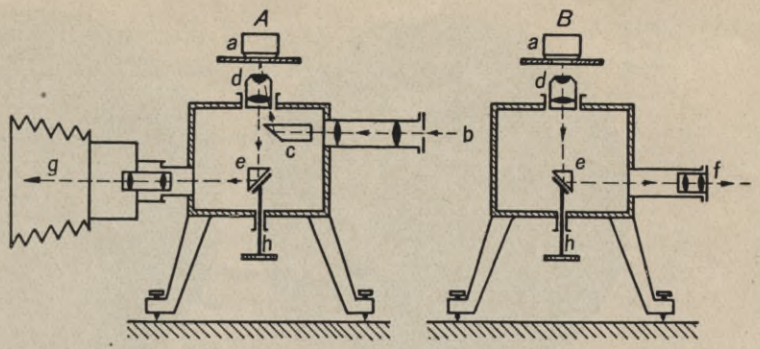
Mikroskop metalograficzny.

Ponieważ metali, z powodu ich nieprzezroczystości, nie można badać w świetle przepuszczonem, tak jak np. ciała organiczne, jest możliwe oglądanie ich w powiększeniu tylko w świetle odbitem. Stąd pochodzi odmienna budowa mikroskopu metalograficznego, i konieczność stosowania silnego światła do oświetlania przedmiotu, na którego przygotowaną powierzchnię padają promienie i, odbite od niej, dostają się do objektywu, dającego powiększenie, stosowne do jego budowy; stąd przez okular wpadają do oka, które obraz otrzymany w objektywie widzi w dalszem powiększeniu, wytworzonem w okularze. O ile chcemy obraz fotografować, co jest bardzo często potrzebne, musi być mikroskop wyposażony w kamerę fotograficzną.

Konstrukcje. Pod względem konstrukcji, wyposażenia w przyrządy optyczne, oświetlenia i dogodności w użyciu, istnieją dwa typy mikroskopów metalograficznych. Jeden, t. zw. „wielki mikroskop“, służy do badań trudniejszych, wymagających często bardzo znacznych powiększeń, gdzie wszystkie przyrządy ustawione są na wspólnej, pewnie utwierdzonej ławie dla wykluczenia drgań, i t. zw. „mały“ albo „warsztatowy“ mikroskop, pozwalający na dorywcze obserwacje przy powiększeniach słabszych, dający się łatwo przenosić, i nawet, w razie potrzeby, ustawiać na samym (np. bardzo wielkim) przedmiocie. Oczywiście, niema zasadniczych różnic w stosowaniu obu tych przyrządów, zwłaszcza, że ostatnie czasy przyniosły kilka konstrukcyj mikroskopów warsztatowych, pozwalających na dokładne badania, a mniej kosztownych niż mikroskopy „wielkie“.

Dzisiejsze „wielkie“ mikroskopy, budowane przez różne zakłady optyczne, opierają się na konstrukcji Le Chateliera, której schemat widzimy na rys. 8 *A* i *B*. Światło lampy elektrycznej *b* skupione systemem soczewek, wpada do pryzmatu *c*, załamuje się na jego skośnej płaszczyźnie, i przez objektyw *d* pada na badaną powierzchnię przedmiotu *a*, ułożonego na poziomowej podstawie, oświetlając badane miejsce. Obraz oświetlonego pola pada teraz na pryzmat *e*, dający się obracać o 90° zapomocą osi *h* i, stosownie do położenia, wpada do kamery fotograficznej *g* lub do okularu *f* a stąd do oka obserwatora. Przesuwając zapomocą precyzyjnych śrub podstawę, na której spoczywa przedmiot *a*, można go oglądać na dużej przestrzeni, a wyszukawszy charakterystyczne miejsce, fotografować, po obróceniu pryzmatu *e* na osi *h* o 90°. Wszystkie części mikroskopu osadzone są na żelaznej ławie i na niej przesuwalne.

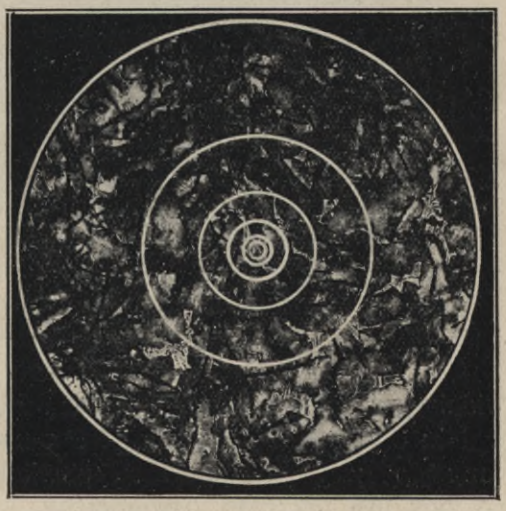
Powiększenia, jakie się uzyskuje w mikroskopie, zależą od stosowanego objektywu a w dalszym rzędzie od okularu. Objektyw daje



Rys. 8.

istotne powiększenie oświetlonego pola, i im jest silniejszy, tem widoczniejsze są szczegóły struktury; okular powiększa tylko obraz otrzymany w objektywie, a więc nie uwidocznia nowych szczegółów przedmiotu, jedynie zwiększa to, co podaje objektyw. Jest to tak, jak fotograficzne powiększenie rysunku, dające grubsze linje i większe odstępy, ale żadnych nowych szczegółów.

Mając do rozporządzenia kilka objektywów o różnej ogniskowej i kilka okularów, możemy oglądać przedmiot w różnych powiększeniach, od kilkadziesiąt-krotnych do kilkotysięcznych. Do badań technicznych wystarczają powiększenia słabsze, 50 do 150-krotne; im są słabsze, tem większe pole przedmiotu obejmują, co jest przy badaniach bardzo pożądane. Na rys. 9 pokazano zapomocą współśrodkowych kół wielkość oglądanej powierzchni, przy pewnem powiększeniu, żeliwa fosforycznego, przedstawionego na rys. 10 w sześciu obrazach o różnych powiększeniach, od 50—1200-krotnego. Powiększenie najsłabsze (× 50) obejmuje całe pole rysunku, najsilniejsze (× 1200) powierzchnię najmniejszego (środkowego) kółka. Widzimy jak każde silniejsze powiększenie zmniejsza pole oglądane; gdy powierzchnia przedmiotu widziana w powiększeniu 50-krotnem wynosi około 1 mm^2, to przy 1200-krotnem zaledwie 0·04 mm^2. Dlatego powinno się zaczynać obserwację od słabych powiększeń, a silnych używać tylko do rozpoznawania pewnych szczegółów.



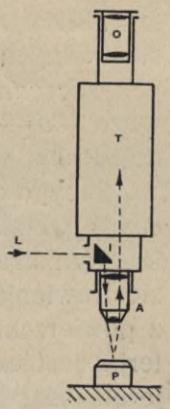
Rys. 9.

Mikroskopy „warsztatowe“ mają zwykle kształt zbliżony do zwykłego mikroskopu o pionowo ustawionej rurze optycznej (tubus). Schemat tych mikroskopów

Rys. 10.

widzimy na rys 11. Rura optyczna *T* pionowa, posiada u góry okular *O*, u dołu objektyw *A*. Przedmiot *P* umieszczony jest pod spodem i zwrócony do góry przygotowaną powierzchnią. Ponad objektywem umieszczony jest przyrząd oświetlający, t. z. iluminator *I*; jest to pryzmat oświetlony promieniami małej żarówki, załamujący światło *L* i rzucający

je przez objektyw na powierzchnię badaną; obraz odbity dostaje się przez objektyw i okular do oka obserwatora. Przy małych powiększeniach i dobrem świetle dziennem, można zamiast żarówki stosować światło naturalne, odbijające się w nastawialnem lusterku. O ile chce się tym mikroskopem fotografować, umieszcza się kamerę fotograficzną ponad okularem, na odpowiednim statywie.



Rys. 11.

Fotografowanie obrazów odbywa się na tych samych zasadach, jak fotografowanie zwykłe, i każdy obznajomiony z tą czynnością poradzi sobie ze zdjęciami mikroskopowemi. Ułatwieniem jest tu niezmienne źródło światła, — zwykle lampa łukowa, byle była dobrze regulowana i węgle paliły się równomiernie. Inna rzecz, że robienie zdjęć nienagannych wymaga dłuższego doświadczenia, poznania właściwości odnośnego aparatu i t. p., co zresztą odnosi się wogóle do fotografowania.

Klisz, ze względu na wspomniane źródło światła, nie należy używać zbyt czułych, drobne szczegóły obrazów wychodzą lepiej na kliszach średnio wrażliwych.

Zresztą, jak wogóle przy fotografowaniu, zależy doskonałość obrazu od umiejętności fotografującego i optycznego wyposażenia aparatu.

Badanie makroskopowe żelaza.

Przyjmując za rzecz oczywistą, że badający posiada potrzebną przy tej czynności znajomość żelaza w całym zakresie, a więc jego budowy krystalicznej, znaczenia i wpływu domieszek umyślnych i zanieczyszczeń przypadkowych, zmian jakim ono podlega wskutek obróbki mechanicznej i termicznej, omawiać będziemy na szeregu obrazów charakterystyczne znamiona, pozwalające rozpoznać pewne stany żelaza, mające znaczenie dla jego własności, zwłaszcza tych, które wywierają wpływ na zachowanie się materjału w stosowaniu praktycznem. Wskaźnikiem tych stanów są przedewszystkiem zanieczyszczenia, wywołane siarką, fosforem, zawartością żużli i t. d., które możemy zabarwić odmiennie zapomocą pewnych odczynników i wytworzyć przez to na powierzchni materjału obraz nietylko samych zanieczyszczeń, ale także przebytej obróbki. W obrabianym materjale cząstki, zarówno mało jak i więcej zanieczyszczone, doznawały różnych przesunięć i przyjmowały różne położenia, dlatego natrawienie, wykazujące zawartość zanieczyszczeń, daje równocześnie obraz przebytych procesów mechanicznych.

Prócz tego natrawianie uwidocznia niewidziane poprzednio rysy, wywołane obróbką.

Natrawianie prób. Do tej czynności używa się kilku odczynników, stosowanych odpowiednio do celu badania.

Odczynnik Heyna. Jest to roztwór wodny chlorku amonowo-miedziawego ($Cu[NH_4]Cl_2$) w stosunku : 10 *g* soli w 120 cm^3 wody destylowanej. Próba winna być oszlifowana aż do papieru 1F.

Przygotowany przedmiot, z czystą powierzchnią (nie dotykać palcem!) wkłada się do szklanego naczynia, napełnionego odczynnikiem, tak, by natrawiana powierzchnia była dobrze przykryta płynem. W czasie trawienia porusza się naczynie, aby wciąż świeży płyn stykał się z powierzchnią próby. Natrawianie trwa z reguły 1 minutę; jeżeli materjał jest czysty i trawienie nie wywołało obrazu, należy je powtórzyć, jeżeli działało za energicznie, przez co obraz stał się zbyt ciemnym, należy powierzchnię przeszlifować i powtórzyć trawienie, lecz krócej.

Odczynnik, wywołując działanie elektrolityczne, rozpuszcza żelazo, osadzając miedź; karbit pozostaje bez zmiany, powoduje tylko ściemnienie, fosfor zabarwia się bronzowo. Miedź osadza się zaraz po zanurzeniu próby i zakrywa powierzchnię badaną; dla zobaczenia obrazu trzeba ją usunąć, co się uskutecznia, wycierając powierzchnię, pod strumieniem wody, watą lub miękką gąbką. Im gładsza była powierzchnia, tem silniej miedź przywiera do niej i często nie daje się usunąć mimo silnego wycierania próby. To jest wskazówką by nie szlifować zbyt miałkim szmirglem. Miedź przywiera również silnie, gdy zawartość węgla w żelazie jest duża.

Wyjętą z odczynnika próbę po opłókaniu i wytarciu z miedzi osusza się miękkim płatkiem bawełnianym a następnie powietrzem, dmuchanem zapomocą gumowego balonika. O ile próba ma być przechowana dłużej i zabezpieczona od rdzewienia, powinno się ją po otarciu z wody osuszyć w czystym alkoholu, a potem przechowywać w ekssikatorze.

Przedmioty większych rozmiarów, nie dające się zanurzyć w płynie, zwilża się na badanej powierzchni zwitkiem waty, zamoczonym w odczynniku, i czynność tę powtarza aż do wywołania obrazu. Można także pewną część powierzchni otoczyć wałeczkiem plastyliny, i w tak utworzony zbiornik wlać odczynnik.

Obraz wytworzony odczynnikiem Heyna powstaje wskutek zaciemnienia miejsc bogatszych w węgiel, a zabarwienia na bronzowo wydzieleń fosforu. O ile w żelazie, np. pudlarskiem, znajdują się złoża żużla, zawsze zawierające fosfor, to i one występują w ciemnobronzowem zabarwieniu.

Wskutek obróbki (np. walcowania) miejsca fosforzyste i żużlowate doznają wydłużenia, dlatego obraz makroskopowy takiego wyrobu wykazuje różnie zabarwione pasma, jak to widać na rys. 12, przedstawiającym makroskopję walcówki z żelaza pudlarskiego. Materjał nie przerabiany, np. surowy blok, oraz poprzeczne przekroje walcówek wykazują plamy, z których postaci można wnioskować o rodzaju materjału, przeróbce i t. p.

Rys. 12 (× 1, odcz. Heyna).

Materjał nie zawierający fosforu ani żużla, i jednolity w swym składzie chemicznym, nie daje po wytrawieniu żadnego obrazu, co najwyżej niewyraźne plamy. Przy większych zawartościach węgla powstaje silne zaciemnienie badanej powierzchni a osad miedzi nie daje się usunąć.

Odczynnik Lwowski. Poprzednio omówiony odczynnik, bardzo prosty w przyrządzaniu i łatwy w użyciu, stosowany jest najwięcej przy badaniu makroskopowem. W pewnych wypadkach zawodzi on jednak, a to przy badaniu materjałów wysoko węglistych, gdyż zaciemnienie obrazu robi go mało wyraźnym; drugą wadą jest silne przywieranie miedzi, często nie pozwalającej się usunąć, przez co nie udaje się otrzymać obrazu. Zalecają wprawdzie usuwanie miedzi przez zanurzenie próby w roztworze cyjanku potasu, szersze zastosowanie jednak tego silnie trującego środka w laboratorjach nie może być pożądane.

Chcąc w powyższych wypadkach zachować dla makroskopji zalety, jakie ma odczynnik Heyna, a usunąć niedogodności, sporządził inż. Wł. Wrażej, adjunkt katedry technologji metali w Politechnice Lwowskiej, następujący odczynnik, będacy tam w stałem użyciu, który nazywać będziemy „Lwowskim". Skład jego jest następujący:

100 cm^3 roztworu siarczanu miedzi (100 g soli w 1000 cm^3 wody dest.)
200 cm^3 roztworu chlorku amonowego (100 g soli w 1000 cm^3 wody dest.)
14 cm^3 amonjaku (stęż. 20%)
42 cm^3 kwasu siarkowego (98 g o cięż. gat. 1·84 w 1000 cm^3 wody dest.)

W tym odczynniku natrawia się próbę, osadzona miedź daje się zetrzeć zupełnie łatwo, zaciemnienie z powodu zawartości węgla nie powstaje, wskutek czego w wielu wypadkach korzystne jest stosowanie tego więcej skomplikowanego odczynnika. Rys. 13 podaje obrazy makroskopowe kawałka kutego z twardego żelaza (około. 0·6% węgla), po natrawieniu odczynnikiem Heyna (*1*) i Lwowskim (*2*). (Czarne kółko jest wgłębieniem po badaniu twardości met. Brinella). Obraz drugi jest nierównie jaśniejszy i wyraźniejszy.

Rys. 13 (× 1, obr. *1* odcz. Heyna, obr. 2 odcz. Lwowski).

Odczynnik Oberhoffera. Do makroskopowego badania żelaza, używany bywa wydatnie powyższy odczynnik o następującym składzie:

0·5 *g* chlorku cynawego
1·0 *g* chlorku miedziowego
30·0 *g* chlorku żelazowego
50·0 cm^3 kwasu solnego skonc.
500·0 cm^3 alkoholu etylowego
500·0 cm^3 wody destylowanej.

Próbę należy miałko oszlifować (papier 00), a lepiej jeszcze wypolerować. Odczynnik działa odmiennie na miejsca bogate w fosfor niż od niego wolne, i wywołuje tym sposobem obraz.

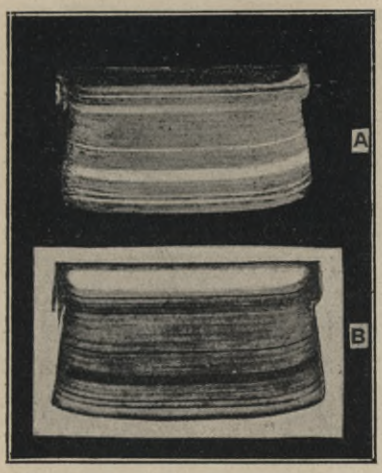
Przy świetle padającem prostopadle na próbę, miejsca fosforzyste występują jasno na ciemnem tle (obraz wytłoczka na rys. 14 *A*), przy oświetleniu ukośnem, odwrotnie (14 *B*). Odczynnik Oberhoffera ma także właściwość wywoływania struktury pierwotnej (dendrytycznej); taką strukturę widzimy na rys. 15 zdjętym z odłamka zamku działa polowego.

Sposób Baumanna. Natrawienie tą metodą pozwala wyznaczyć miejsca zanieczyszczone skupieniami siarki. Na powierzchnię oszlifowaną (papier 00) kładzie się kawałek fotograficznego papieru bromowo-srebrowego, zwilżonego 5%-owym roztworem kwasu siarkowego, pozostawia na niej około minuty, poczem zdejmuje się i utrwala. Miejsca zanieczyszczone siarką zabarwiają papier bronzowo, dając rysunek makrostruktury, jak to widzimy na rys. 16, przedstawiającym wadliwe połączenie nitowe dwu walcówek.

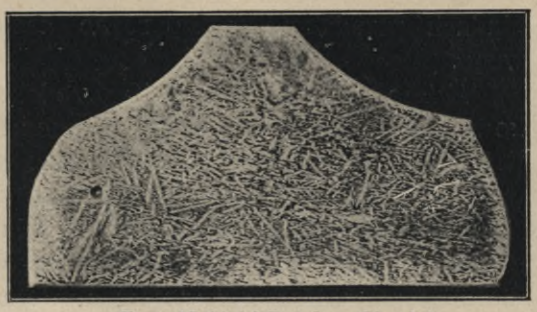
Zanim gotowy do wytrawienia, a więc oszlifowany wzgl. wypolerowany okaz zanurzymy w odnośnym płynie, oglądamy jego nienatrawioną powierzchnię, gdyż czasem może ona dać nam pewne wskazówki o materjale, np. gdy są pęknięcia, obfite złoża żużla, porowatości, jamy odlewnicze, albo skład materjału jest bardzo zmienny. Przykład tego daje rys. 17 gdzie koło zębate, na powierzchni cementowane, pozwala po wypolerowaniu, bez trawienia, odróżnić zupełnie wyraźnie grubość warstwy nawęglonej. Jest to możebne wskutek odmiennej zdolności odbijania światła warstwy nacementowanej, dającej się, wskutek swej twardości, gładziej wypolerować niż miękki ośrodek. Na obrazie fotograficznym warstwa ta przy oglądaniu okiem jasna, wypadła czarno.

Na rys. 18 przedstawione są obrazy makroskopowe okrągłej walcówki z wadliwym ośrodkiem, wykonane opisanemi czterema metodami: 1) odczynnikiem Heyna, 2) Lwowskim, 3) Oberhoffera, 4) Baumanna. Zdjęcie fotograficzne nie daje oczywiście pojęcia o barwie obrazu.

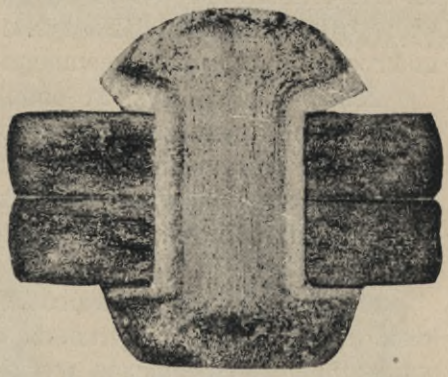
Zastosowanie badań makroskopowych. Na następujących przy-



Rys. 14 (*A*: × 0·9, *B*: × 1, odcz. Oberhoffera).

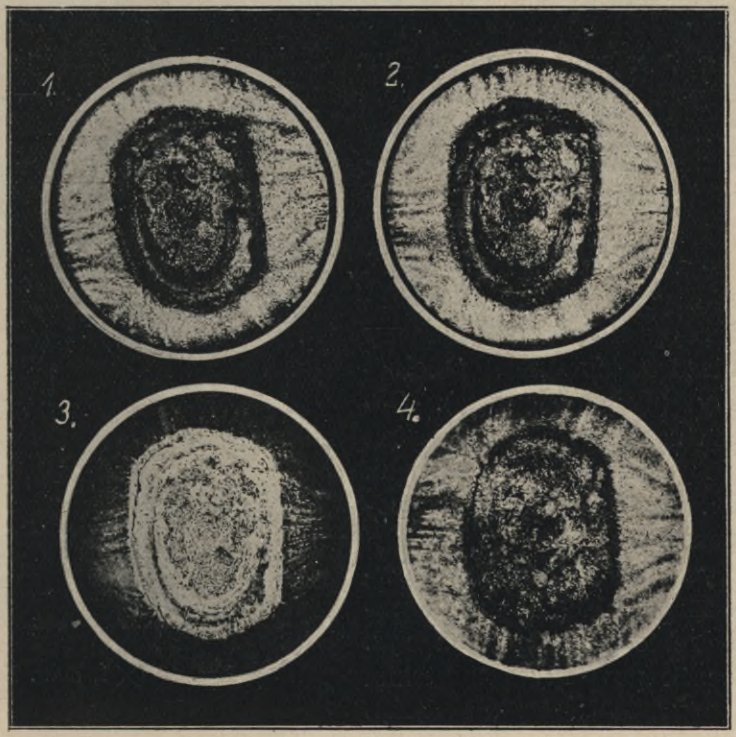


Rys. 15 (× 0·5, odcz. Oberh.).



Rys. 16 (× 1, odcz. Baumanna).

Rys. 17 (× 1, nietrawiony).



Rys. 18 (× 1; obr. *1* odcz. Heyna. *2* Lwowski, *3* Oberh., *4* Baum.).

kładach przedstawione są różne zastosowania badania makroskopowego.

Żelazo pudlarskie. Rys. 19 przedstawia wąskotorową szynę z wiązkowego żelaza pudlarskiego, z ciemnemi smugami żużla i jasnemi linjami, wskazującemi granice zgrzania poszczególnych sztab, stanowiących pierwotną wiązkę, z której wywalcowano szynę.

Na rys. 20 widzimy śrubę z żelaza zlewnego o dość wadliwym ośrodku; sworzeń śrubowy był obtoczony, wskutek czego prawie zupełnie zniknęła warstwa zewnętrzna, wolna od zanieczyszczeń. Nakręcony na śrubę naśrubek wykonany był z mocno żużlowatego żelaza zgrzewanego (pudlarskiego). Na rys. 1, 12 i kilku dalszych widzimy również makroskopje żelaza zgrzewanego.

Żelazo zlewne. Rys. 21 podaje typowy obraz blachy z żelaza zlewnego, z wadliwym, zanieczyszczonym fosforem i żużlowatym ośrodkiem, a czystemi warstwami skrajnemi. Z prawej strony widać deformację materjału, spowodowaną wytłaczaniem otworu zapomocą stempla. Blacha pochodzi z kotła, który uległ rozerwaniu z powodu wadliwego materjału.

Na rys. 22 widzimy walcówkę kątową z obszernym wadliwym ośrodkiem a wąskiemi zewnętrznemi warstwami czystego materjału. Ośrodek wykazuje liczne i znaczne wydzielenia fosforu (ciemne plamy).

Inne obrazy żelaza zlewnego widzimy na rys. 14, 16, 18, 24, 26, 27 i 32.

Ucinanie, wyrób otworów. Rys. 23 przedstawia sztabę z żelaza pudlarskiego uciętą na zimno, po jednej stronie (*A*) piłą — warstwy równe, niezdeformowane, po drugiej (*B*) nożycami mechanicznemi — warstwy wygięte pod naciskiem noża.

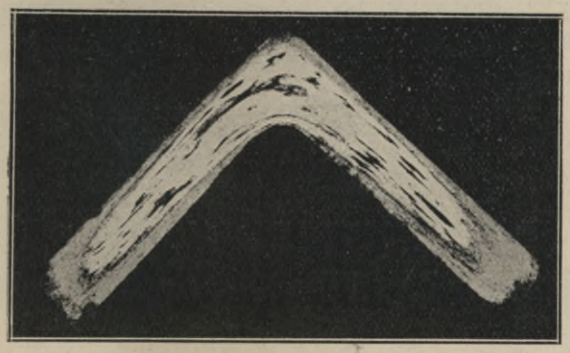
Na rys. 24 widzimy odcinki blach kotłowych z otworami na nity. W górnej jest otwór wywiercony (pasma niezdeformowane), w dolnej wytłoczony (pasma wygięte). Odcinki blach zostały wykrojone w ten sposób, że górny odcięto nożycami, dolny piłą, co jest widoczne z położenia pasemek.

Na rys. 21 widzieliśmy również deformację blachy spowodowaną wytłoczeniem otworu, na rys. 14 wytłoczek powstały przy takim

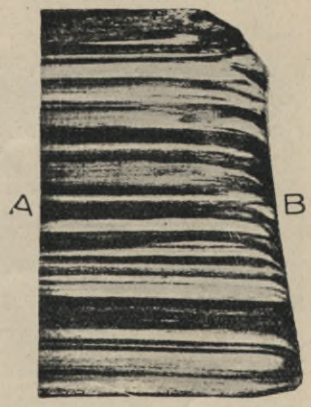
Rys. 19 (× 1, odcz. Hn.).

Rys. 20 (× 1, odcz. Hn.)

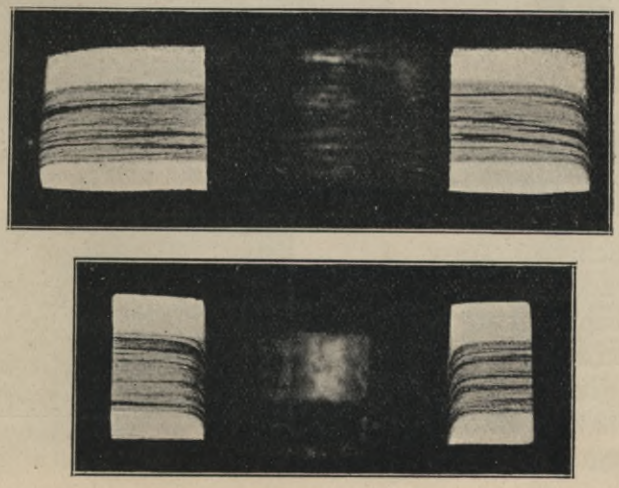
Rys. 21 (× 2, odcz. Hn.).



Rys. 22 (× 1, odcz. Hn.).



Rys. 23 (× 1, odcz. Hn.).



Rys. 24 (× 1, odcz. Hn.).

zabiegu, a na rys. 32 sworzeń nitowy ucięty na zimno dłutem. Wszędzie wybitne deformacje materjału wskazują, jak wiele cierpi on przy takich zabiegach.

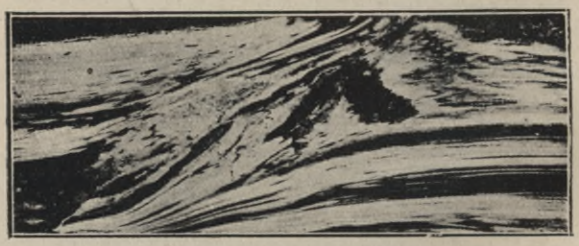
Połączenia zgrzewne. Rys. 25 przedstawia złącze dwóch ukośnie zakończonych prętów z żelaza pudlarskiego; widoczny jest skośny szew zgrzania i deformacja włókien, wywołana kuciem przy wyciąganiu końców drążków w ostry język dla złącza.

Rys. 26 podaje miejsce zgrzania ogniwa łańcucha z żelaza zlewnego. Jasne brzegi wykutych ukośnie końców pręta otaczają wadliwy ośrodek, cienka, ciemna linja między białemi warstwami wskazuje miejsce złączenia, zanieczyszczone tlenkiem, inaczej bowiem nie byłoby tak widoczne.

Połączenia stopne. Rys. 27 pokazuje obrazy połączenia dwóch blach (wadliwych) z żelaza zlewnego, wykonane przez stapianie zapomocą prądu elektrycznego. Blachy łączone są obustronnie ścięte; do złącza użyto dodatkowego żelaza z równocześnie topionego pręta. Obraz górny złączonych prętów (odcz. Heyna) pokazuje wydzielenia fosforu, dolny (Baumann) siarki; obraz samego złącza, wykonanego z dodanego materjału, świadczy, że użyte tutaj żelazo było wolne zarówno od fosforu jak i siarki. Ciemne plamki i punkty na górnym obrazie wskazują, że połączenie jest żużlowate i tlenkowate.

Wyrób rur. Na rys. 28 widzimy rurę wykonaną z paska blachy (żel. pudlarskie) przez zgrzanie brzegów, ze ścianką dzielącą, również zgrzaną. Złącza wskazują strzałki.

Rys. 29 (odcz. Heyna) i 30 (odcz. Lwowski) przedstawiają obrazy rur bez szwu. Materjał rury pierwszej jest czysty, drugiej wykazuje wewnątrz warstwę zanieczyszczoną fosforem.

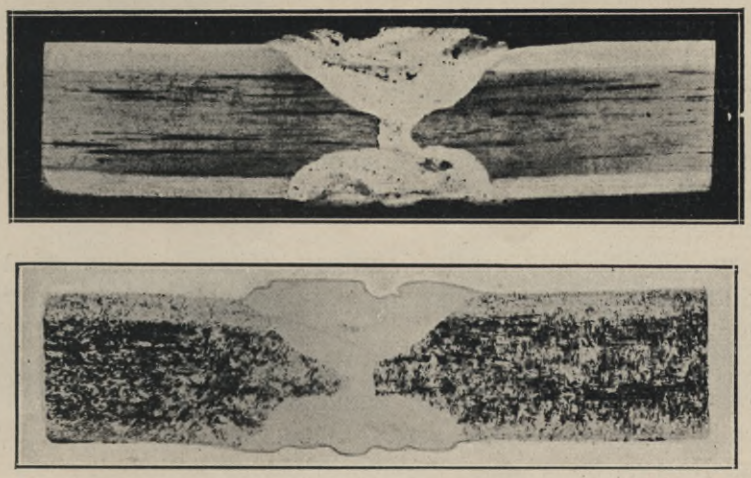


Rys. 25 (× 1, odcz. Hn.).

Przeróbka kuźnicza. Rys. 31 pokazuje główkę gwoździa do przytwierdzania szyn kolejowych na drewnianych progach; gwóźdź jest wykonany z żelaza pudlarskiego. Widoczna jest deformacja włókien wskutek wytłoczenia na gorąco główki.

Rys. 26 (× 1, odcz. Hn).

Obraz nita z wadliwego żelaza zlewnego, obciętego

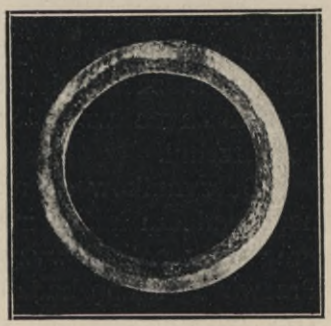


Rys. 27 (× 1, obraz górny odcz. Hn., dolny — Baum.).

Rys. 28 (× 1, odcz. Hn.).

Rys. 29 (× 1, odcz. Hn.).

Rys. 31 (× 1, odcz. Lw.).



Rys. 30 (× 1, odcz. Lw.).

na zimno ręcznem dłutem przy demontowaniu, daje rys. 32. Pasma fosforzystego i żużlowatego materjału uwidoczniają przebytą obróbkę kuźniczą przy wytłaczaniu główki nita.

Gruboziarnistość. Połączenie stopne dwóch blach (rys. 33) wykazuje gruboziarnistość złącza, wywołaną stopieniem końców blach łączonych, przy zbyt długo trwającem operowaniu gorącym płomieniem palnika acetylenowego.

Na rys. 34 widzimy przekrój kutego kółka zębatego stożkowego, które widocznie doznało przegrzania przy wyrobie, gdyż materjał jego jest gruboziarnisty.

Pęknięcia uwidoczniają się same po oszlifowaniu badanego miejsca, a jeszcze wyraźniej występują po zanurzeniu próby w oleju lub nafcie i posypaniu następnie miałką kredą, albo przez natarcie czernidłem drukarskiem. Na rys. 35 widzimy pęknięcie blachy kotłowej, spowodowane nieoględnem odbijaniem na zimno kamienia kotłowego. Wywołany tem miejscowy zgniot materjału i skutki jego: naprężenia i kruchość, spowodowały później pęknięcie, gdy materjał, ogrzany w czasie ruchu kotła, podlegał rozszerzaniu się i kurczeniu.

Badania mikroskopowe żelaza.

O wyborze próby, jej ucinaniu, szlifowaniu i polerowaniu była już mowa. Przygotowaną temi zabiegami próbę ogląda się (zawsze!) pod mikroskopem, by na próbie nietrawionej zbadać zawartość niemetalicznych przymieszek, a następnie poddaje się ją natrawianiu dla uwidocznienia struktury.

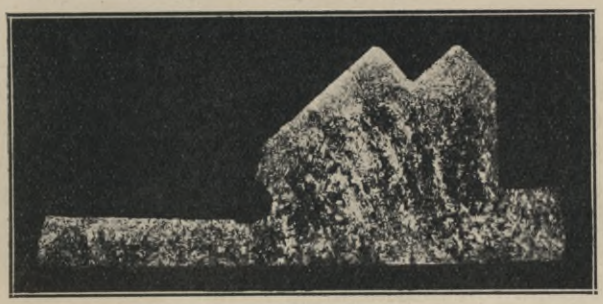
Natrawianie. Ma ono na celu jużto częściowe rozpuszczenie składników mniej odpornych niż inne, jużto zmianę ich gładkiej powierzchni na zarysowaną ujawnionemi elementami budowy kryształów, odmienne zabarwienie lub odgraniczenie ziarn krystalicznych, wskutek czego występują one wyraźnie obok siebie i pozwalają się odróżnić. Na rys. 36 widzimy obraz czystego żelaza (ferrytu), gdzie poszczególne ziarna są od siebie wyraźnie odgraniczone, mają różny stopień jasności (wzgl. zaciemnienia) i, zależnie od orjentacji ich (nachylenia osi krystalicznych względem badanej powierzchni), odmienny rysunek na powierzchni.

Odczynników do natrawiania żelaza jest wiele, i dla bardzo wprawnego badacza każdy ma pewne zalety, które jednak tylko doświadczony pracownik potrafi wyzyskać i zastosować do jakichś wyjątkowych celów. Przeważną liczbę badań można wykonać z pomocą kilku zaledwie środków, wystarczających do celów technicznych. O tych środkach tylko będzie tutaj mowa.

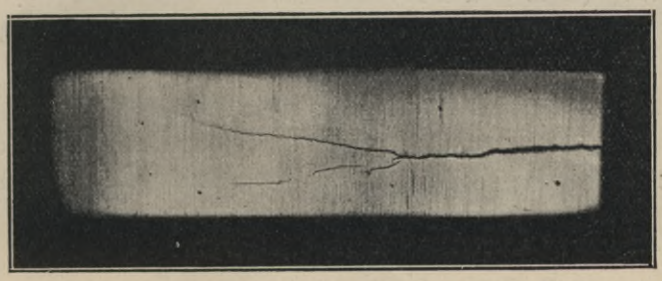
Rys. 32 (×1, odcz. Lw.).

Rys. 36 (×150, kwas azotowy).

Rys. 33 (×2, odcz. Hn.).



Rys. 34 (×1, odcz. Hn.).



Rys. 35 (×0·5, nietraw.).

Kwas azotowy (cięż. gat. 1·14) rozpuszczony w alkoholu etylowym, w stosunku:

4 cm^3 kwasu azotowego
100 cm^3 alkoholu etylowego.

Badaną próbę wkłada się do szklanego naczynia z odczynnikiem, powierzchnią polerowaną do góry, by była przykryta płynem, i poruszając zlekka naczyniem, aby wciąż świeży płyn stykał się z powierzchnią próby, pozostawia w nim tak długo, pokąd powierzchnia lekko się nie zamgli; wtedy się ją płucze w wodzie (nie dotykając niczem) i osusza ostrożnie miękkim płatkiem płótna, tylko dotykając nim próby, a nie pocierając, aby nie porysować powierzchni. Jeżeli próba ma być dłużej przechowywana, wtedy po spłukaniu wodą, zanurza się ją jeszcze w alkoholu. Dla zupełnego usunięcia wilgoci, osusza się na końcu próbę prądem powietrza z balonika gumowego.

Dobre osuszenie można uzyskać, zanurzając natrawioną i opłukaną próbę przez krótki czas we wrzącej wodzie. Nie można w ten sposób osuszać prób, których strukturę zmienić może nawet tak słabe ogrzanie (pewne badania ze stalą hartowaną, niektóre stopy lekkie).

O ile w mikroskopie struktura nie występuje wyraźnie, należy powtórzyć natrawianie. Trawienie żelaza kujnego trwa około jednej minuty.

Powyższy odczynnik, najczęściej ze wszystkich używany, stosuje się do wszelkich rodzajów żelaza kujnego, tak węglistego, jak i stopów specjalnych, a także do surowców żelaza: białego i szarego. Pod jego działaniem występują granice ziarn, na ferrycie zaznacza się jego struktura elementarna, często rozmaite ściemnienie ziarn. Perlit w słabem powiększeniu występuje ciemno, w silniejszem uwydatniają się w nim wyraźnie jasne pasemka cementytu i zaciemnione ferrytu. Cementyt nie ulega zmianie i zachowuje jasność i gładkość nadaną mu przez polerowanie.

Do badań, w których próbę natrawioną poddaje się natychmiast obserwacji mikroskopowej, można używać wody destylowanej zamiast alkoholu. Gdy próba jest utwierdzona żywicą, nie można używać roztworu alkoholowego, który rozpuszcza żywicę.

Kwas solny (cięż. gat. 1·19) w roztworze alkoholowym:

2 cm^3 kwasu solnego
100 cm^3 alkoholu etylowego.

Ten odczynnik można stosować do żelaza kujnego wszelkich zawartości węgla w stanie normalnym i hartowanym. Natrawianie odbywa się wolniej, więc trwa dłużej, zwłaszcza u stali hartowanej. Oddziaływanie stali na składniki podobne jak kwasu azotowego.

Kwas pikrynowy w roztworze alkoholowym:

4 g kwasu pikrynowego krystalicznego
100 cm^3 alkoholu etylowego.

Pikrat sodowy. 2 *g* kwasu pikrynowego (kryst.) rozpuszczone w 100 cm^3 roztworu wodorotlenku sodowego (25 *g* stałego wodorotlenku w 75 cm^3 wody dest.) gotuje się przez pół godziny na wodnej kąpieli; czysty roztwór z nad osadu zlewa się do ciemnej flaszki, szczelnie zatykanej. Do użycia wlewa się płyn do probówki, wstawia do wrzącej wody, a gdy się rozgrzeje, wkłada do niego próbę i na kąpieli wodnej gotuje przez 5—10 minut, poczem płócze. Odczynnik nie barwi ferrytu, bardzo nieznacznie ściemnia perlit, a cementyt zabarwia ciemno, jest więc doskonałym środkiem do odróżnienia tego składnika w wolnym stanie (t. j. nie w perlicie), gdy zachodzą wątpliwości.

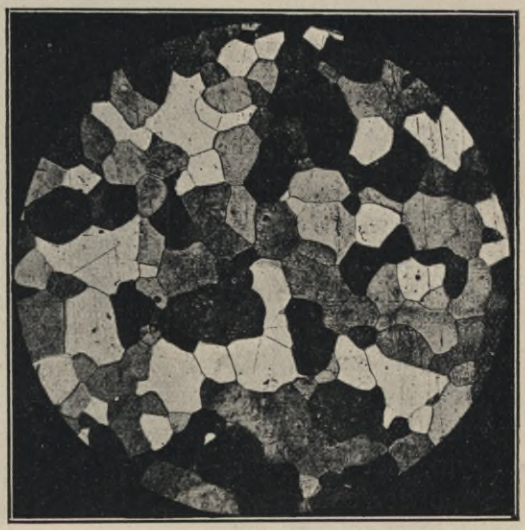
Podobnie jak przy badaniach makroskopowych, omówimy i tutaj rozmaite sposoby badania mikroskopowego i jego zastosowania.

Żelazo węgliste.

Aby się łatwo orjentować w oglądanych obrazach różnych gatunków żelaza, należy przyswoić oku postaci jego składników i sposób ich występowania obok siebie. Postaci te to ferryt, perlit i cementyt.

Ferryt. Postać jego w dużych ziarnach, o rozmaitem zaciemnieniu, bardzo charakterystyczną dla tego składnika, oglądamy na rys. 37 (w silniejszem powiększeniu na rys. 36). Ziarna ferrytu i jego struktura są jednak często mniej wybitnie widoczne, tak samo różnica jasności ziarn. W mieszaninie z perlitem (żelazo podeutektoidalne) przedstawia się ferryt często jasno lub z mniej odróżniającem się zaciemnieniem ziarn np. rys. 42, 53, 56 i inne.

Gdy oglądamy w słabem powiększeniu obraz perlitu obok innych składników, zwłaszcza gdy one znajdują się w małych ilościach, może zajść wątpliwość, czy obok perlitu widzimy ferryt czy cementyt, oba bowiem obok perlitu przedstawiają się biało. O rozróżnianiu tych dwóch składników między sobą mówić będziemy dalej, rozważając postać cementytu.



Rys. 37 (× 40, kw. az.).

Perlit, z powodu swej budowy, jest łatwy do rozpoznania w dużych powiększeniach

(rys. 38 × 500) lub gdy żelazo jest przegrzane i składniki perlitu są grubo wykrystalizowane. Gdy jednak struktura jest drobna a powiększenie słabe, to, zwłaszcza w mieszaninach z ferrytem (żelazie podeutektoidalnem), nie można w nim odróżnić charakterystycznych pasemek obu składników, ale zaznacza się tylko jako plamki szare lub czarne (rys. 53, 56, 60 i inne). Wtedy niewprawny obserwator nie zdaje sobie sprawy, czy ma do czynienia z perlitem, czy z mocno zaciemnionemi ziarnami ferrytu. Ze względu, że ferryt występuje w bardzo różnych zaciemnieniach tylko wtedy, gdy jest sam (bez perlitu), a w mieszaninie z perlitem słabiej zaciemniony lub zupełnie jasno, można po zobaczeniu kilku takich okazów w mikroskopie, nauczyć się odróżniać te składniki.

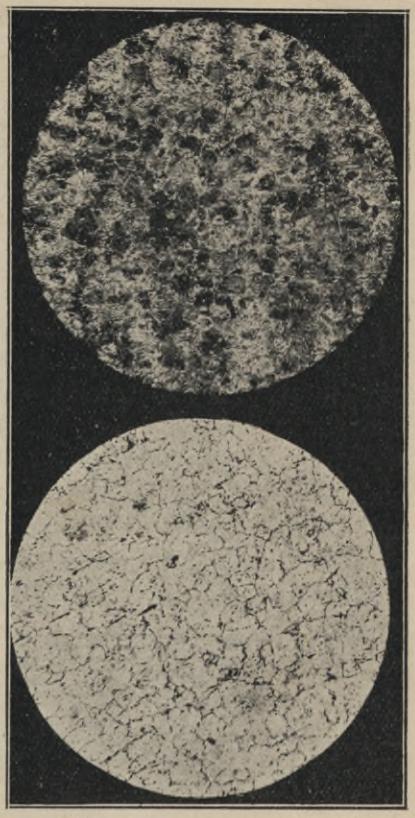
Cementyt, bardzo odporny chemicznie, wygląda na obrazie zawsze biało i jeżeli występuje w dużych skupieniach, jak na rys. 39, daje się łatwo rozpoznać po swej jednolicie gładkiej i jasnej powierzchni. W skupieniach natomiast mniejszych niełatwo jest odrożnić go od ferrytu, jak to widzimy na rys. 40 u góry, gdzie wobec różnego zaciemnienia perlitu, drobna biała siatka drugiego składnika jest mało widoczna. Wtedy użyć trzeba środków działających tylko na jeden z tych składników a na drugi nie. Takim środkiem jest pikrat sodowy, który cementyt zabarwia ciemno, nie działając wcale na ferryt ani na perlit. Na tym samym rysunku w obrazie dolnym widzimy ten sam materjał jak na obrazie górnym, lecz wytrawiony pikratem. Perlit nie zabarwiony pozwala na uwidocznienie cementytu w postaci czarnej siatki i punkcików. W grubszych, jednak nie siatkowych skupieniach, widzimy na rys. 41 czarno pikratem zabarwione wysepki cementytu na jasnem tle nie zaciemnionego perlitu.

Rys. 38 (× 500, kw. az.).

Drastycznym, jakościowym sposobem odróżnienia cementytu od ferrytu, jest zadraśnięcie powierzchni badanej ostrym końcem cienkiej igły stalowej. Ce-

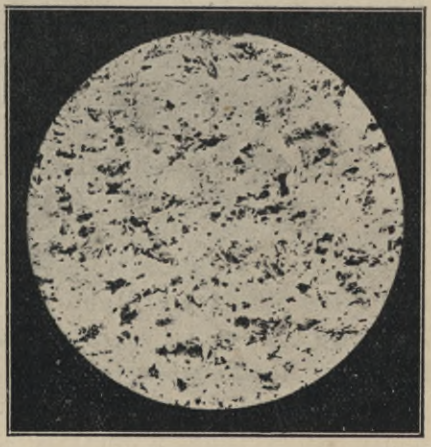
mentyt, jako twardszy od stali hartowanej, nie doznaje zarysowania, w ferrycie powstaje ślad głęboki, w perlicie również bardzo wyraźny, choć nieco cieńszy.

Zawartość węgla, tak ważna dla żelaza ze względu na jego mechaniczne własności, pozwala się ocenić na obrazie mikroskopowym ze stosunku obu składników t. j. perlitu i ferrytu w stalach podperlitycznych (poniżej 0·9% węgla), a perlitu i cementytu w nadperlitycznych (powyżej 0·9%). Składniki te tak się wybitnie odróżniają, zwłaszcza w stalach o niezbyt wielkiej zawartości perlitu, że tę odrębną ich postać można spożytkować do wyznaczenia zawartości węgla drogą optyczną, z dokładnością wystarczającą dla wielu potrzeb. Przyjąwszy, ze ścisłością dostateczną, ze względu na inne możliwe błędy badania, że czysty perlit zawiera 0·9% węgla, ferryt 0% a cementyt 6·67%,



Rys. 40 (× 100, górny obraz kw. az., dolny — pikrat sodowy).

Rys. 39 (× 300, kw. az.).



Rys. 41 (× 100, pikrat sod.).

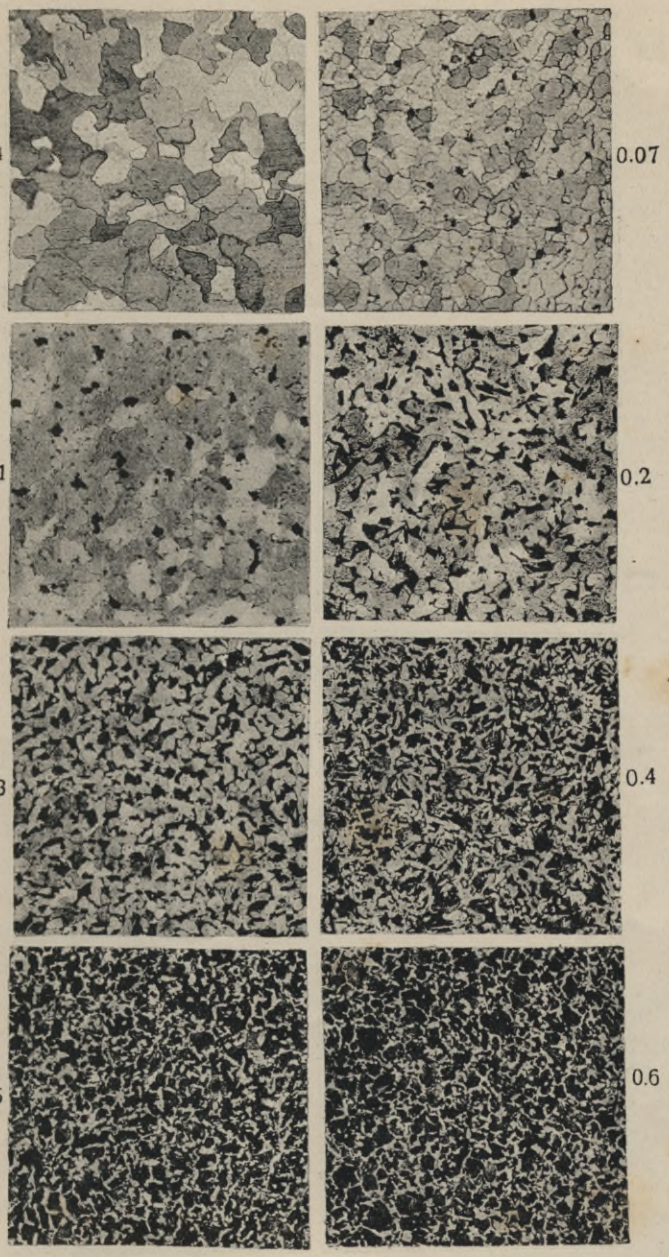
oznaczamy na obrazie stosunek powierzchni zajętej przez perlit i drugi składnik (ferryt lub cementyt), i na tej podstawie obliczamy zawartość węgla. Jeżeli np. zawartość perlitu w obserwowanem polu wynosi 0·3 całej jego powierzchni, to ogólna zawartość węgla w niem będzie 0·3 zawartości czystego perlitu (o 0·9%), czyli $0{\cdot}9 \times 0{\cdot}3 = 0{\cdot}27\%$. Gdy w innym wypadku zawartość wolnego cementytu wynosi 0·05 badanego pola, to cała ilość wynosić będzie 0·9% (zawartość w perlicie) więcej różnicę zawartości węgla w cementycie od perlitu w miejscach zajętych przez cementyt: $6{\cdot}67 - 0{\cdot}9 = 5{\cdot}77$, z tego 0·05 t. j. 0·288%, a więc średnia zawartość węgla wynosić będzie $0{\cdot}9 + 0{\cdot}288 = 1{\cdot}188$, okrągło 1·2%.

Chodzi tylko o to, jak ocenić ów stosunek zawartości obu składników w oglądanym obrazie, a to nie jest rzeczą łatwą. Ocenianie „na oko“ daje pole do popełniania wielkich błędów, — obliczanie liczby ziarn obu składników na powierzchni obrazu przy pomocy kratkowanej podziałki, przyłożonej do obrazu lub rzuconej optycznie (metoda Baumana), daje wyniki więcej zbliżone do prawdy ale także niedość dokładne. Chcąc dokładnie oznaczyć stosunek składników, wymierzamy planimetrem powierzchnię zajętą przez perlit, lub mając fotografję, wycinamy z niej nożyczkami pola perlityczne, poczem na wadze analitycznej, na której poprzednio zważona była fotografja całego obrazu, ważymy części wycięte, i ze stosunku obu ciężarów wyznaczamy stosunek składników. Ponieważ papier fotograficzny ma jednakową grubość, jest ten sposób prawie równie dokładny jak przy użyciu planimetru i zależy tylko od dokładności wycinania pól z papieru. Gdy w żelazie obok perlitu znajduje się wolny cementyt, postępowanie jest analogiczne.

W ten sposób przeprowadzona analiza daje wyniki wcale dokładne i często zastąpić może chemiczną, która też nie jest wolna od mimowolnych błędów. Mając bowiem większą próbę do badania, możemy do analizy mikroskopowej obrać pole najwięcej odpowiadające średniej, zaobserwowanej, zawartości perlitu, gdy tymczasem biorąc próbę do analizy chemicznej, przez nawiercenie materjału dla otrzymania wiórków, nie zawsze natrafimy na takie pośrednie miejsce. Jest to zwłaszcza możliwe przy materjałach wadliwych, np. w blasze z żelaza zlewnego, pochodzącej z części środkowej, bliskiej jamy, gdzie zawartość węgla jest zwykle większa niż w warstwach skrajnych.

Zaznaczyć jednak trzeba, że analiza mikroskopowa daje dobre wyniki tylko przy małych zawartościach perlitu, przy większych bowiem, (ponad 0·5% węgla) wyróżnienie małych pól ferrytu jest trudne, a analiza przez to niedokładna.

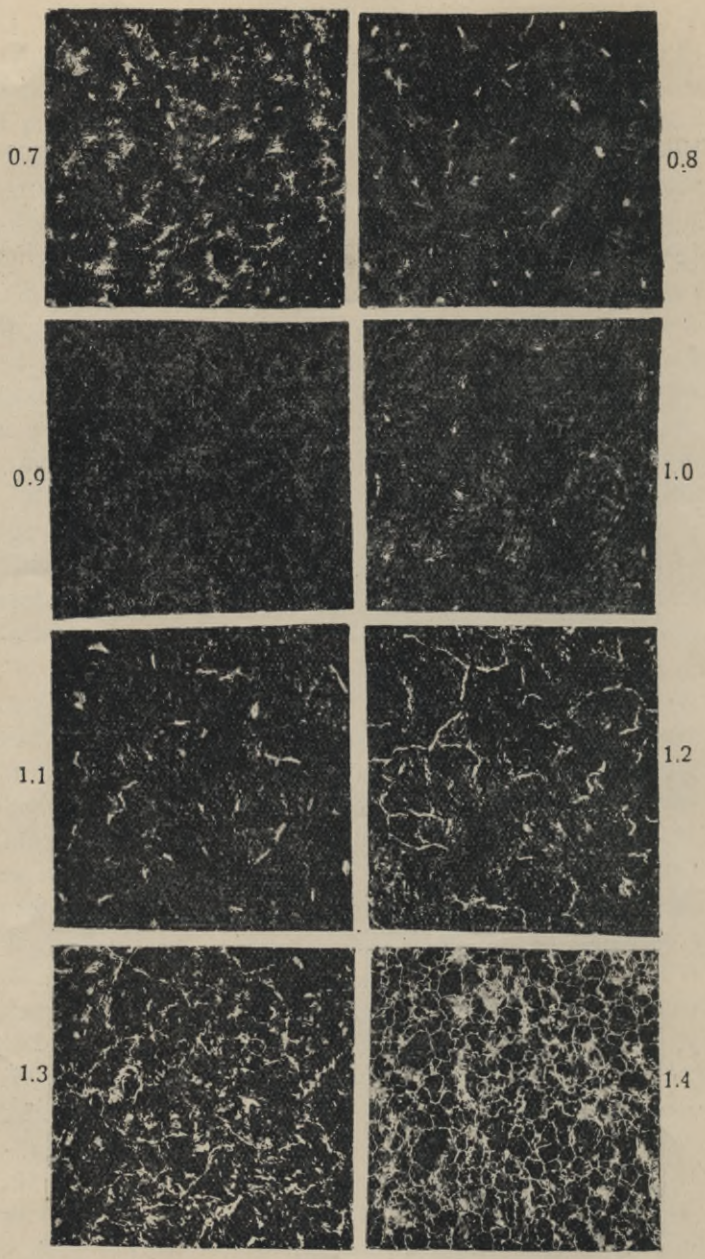
Obliczanie powierzchni zajętej przez składniki przy pomocy planimetru lub ważenia wyciętych skrawków fotografji, jest nadto możliwe tylko przy strukturze normalnej, t. j. gdy składniki są skupione w umia-



Rys. 42
(kw. az.).

rowe ziarna; w wypadkach drobnych, cienkościennych skupień (np. w strukturze siatkowej) jest ten sposób niewykonalny.

W takich wypadkach należy się posługiwać gotowemi obrazami, przedstawiającemi materjały typowe o różnej zawartości węgla. Zestawienie takich obrazów widzimy na rys. 42 dla zawartości mniejszych,



Rys. 43
(kw. az.).

na rys. 43 dla większych. Mając takie zestawienie, porównywujemy z niem badane żelazo, i ustaliwszy, który obraz najwięcej odpowiada badanej próbie, określamy zawartość węgla. Przy zawartościach węgla w stalach nadperlitycznych nie daje się to wykonać z zadowalającą dokładnością, ponieważ ilość i postać występującego wolnego cementytu

nie przedstawia się na obrazie dość wyraźnie dla oka. Natrawianie w pikracie sodowym oddaje w takich wypadkach cenne usługi.

Chcąc zawartość węgla wyznaczyć w stali hartowanej, albo tak przez obróbkę zmienionej, że odróżnienie poszczególnych składników nie jest możliwe, należy próbę wyżarzyć.

Powyższy sposób oznaczania ilości węgla stosować można tylko do stali węglistych a nie stali stopowych (specjalnych), gdzie dodatek nowego składnika (niklu, chromu, manganu i t. p.) może wpływać na zwiększenie lub zmniejszenie ilości perlitu, a tem samem na inny stosunek składników w obrazie mikroskopowym.

Przy bardzo znacznych zawartościach węgla występuje często karbid wolny w kuleczkowych skupieniach (cementyt kulkowy), jak to widzimy na rys. 44, przedstawiającym stal zawierającą 1·54% węgla.

Strukturę taką, otrzymywaną ze stali nadeutektoidalnej przez długie żarzenie w bardzo ściśle oznaczonych granicach temperatur, spotykamy także w sławnej niegdyś stali damasceńskiej, wyrabianej przez ludy wschodnie, a także w stalach specjalnych t. z. karbidycznych.

Odróżnianie rodzajów żelaza.

Żelazo pudlarskie. Przed niewielu jeszcze laty, było częstem zadaniem badacza rozróżnianie żelaza wyrabianego metodą zgrzewną (pudlarskiego) od żelaza zlewnego. Dziś żelazo zgrzewane już nie jest wyrabiane (nieliczne wyjątki), a w przemyśle spotykamy się z niem tylko przypadkowo. Jeżeli mimo to omówimy dość obszernie jego obrazy mikroskopowe, to robimy to w celu zachęcenia początkujących badaczy do przeprowadzenia swych wstępnych ćwiczeń na tym materjale, którego nabycie u handlujących starem żelazem jest jeszcze dość łatwe. Żelazo pudlarskie bowiem przedstawia w swej budowie tyle zmiennych czynników, tyle zagadnień, że między różnemi gatunkami żelaza niema materjału eksperymentalnego, na którym tak wiele można zobaczyć i tak wiele się nauczyć.

Rys. 44 (× 150, kw. az.).

Postać żużla. Z powodu metody wyrobu: wykrystalizowywania się ziarn żelaza z płynnego i już znacznie wyświeżonego surowca, wskutek działania żużla bogatego w tlen, jest to żelazo przesycone żużlem, i dlatego, by je rozpoznać, rozpoczynamy od oglądania wypolerowanej, ale nienatra-

wionej próby. Na rys. 45 widzimy u góry obraz tego żelaza w przekroju podłużnym, t. j. w kierunku walcowania, u dołu w kierunku do tamtego prostopadłym. Bardzo liczne, długie, różnej grubości smugi na obrazie pierwszym, a nieregularne, pomiędzy ziarna żelaza powciskane wyspy żużla na drugim, charakteryzują ten materjał w sposób tak wybitny, że odróżnienie go od żelaza zlewnego jest już przed natrawieniem zupełnie pewne.

Struktura. W natrawionych obrazach, z których kilka podajemy, spotyka się na małej przestrzeni skupienia ziarn o bardzo odmiennej postaci. Tak na rys. 46 widzimy u góry materjał bardzo drobnoziarnisty obok bardzo wielkich ziarn o charakterystycznym kształcie materjału przegrzanego. Jest to miejsce zetknięcia dwóch grup ziarn, z których jedne, drobne, wykrystalizowały się w ostatniej chwili, drugie wytworzyły się zaraz z początkiem tężenia wyświeżonego materjału, i pozostając jeszcze długo w piecu, miały czas na wzrost i przegrzanie. Obraz dolny przedstawia miejsce graniczne pomiędzy słabiej wyświeżonem żelazem o znacznej stosunkowo zawartości perlitu (ok. 0·2% węgla) i wolnem prawie od żużla, a materjałem zupełnie miękkim (bez perlitu) i silnie poprzegradzanym warstewkami żużla, który do ostatniej chwili miał możność działać świeżąco.

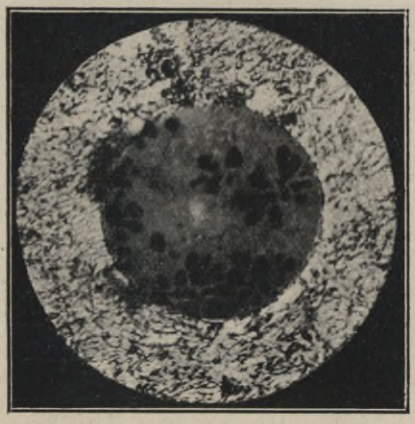
Ponieważ w czasach ostatnich pewne huty (np. amerykańskie) podjęły na nowo, ulepszonemi, więcej masowemi metodami, wyrób żelaza zgrzewanego dla jego cennych własności do pewnych wyrobów, nie należy materjału tego zaniedbywać w ćwiczeniach metaloznawczych.

Żelazo zlewne. *Postać żużla.* Zasadniczo nie powinien ten materjał zawierać żużla, który jako łatwiej topliwy i gatunkowo lekki, wypływa na powierzchnię stopionego metalu. Ponieważ jednak przy końcu procesu świeżenia metodami zlewnemi odbywać się musi zawsze proces desoksydacji, wytwarza się w ostatnim okresie procesu żużlowaty związek manganowy, wypływający z żelaza płynnego, ale zatrzymujący się w niem, gdy żelazo zaczyna tężeć. Taki uwięziony żużel ma kształt kropelek i daje przez to żelazu zlewnemu właściwą cechę. W obrazie żelaza zlewnego, pochodzącego z surowego bloka (nie przerobionego kuźniczo) lub stalowych odlewów, spotyka się często krople zastygłego żużla, mające kształt kulisty jak na rys. 47 lub do niego zbliżony jak na rys. 48. Widzimy tam mnóstwo drobnych kulistych ciałek żużla, a obok nich większe, również zaokrąglone, zbiorowiska kilku złączonych ze sobą kropelek, które nie mogły przyjąć dokładnie kulistej postaci z powodu posuniętego już procesu krzepnięcia i gęstnienia żelaza. Ta postać żużla stanowi cenną cechę rozpoznawczą żelaza zlewnego.

Gdy surowy blok podlega przeróbce kuźniczej, doznają kropelki żużla, zamknięte w bloku a już miękkie, plastycznego odkształcenia, jak

Rys. 45 (× 100, nietraw.).

Rys. 46 (× 100, kw. az.).



Rys. 47 (× 300, kw. az.).

Rys. 48 (× 100, nietraw.).

to widzimy na rys. 49, przedstawiającym nietrawioną próbę walcówki; kropelka żużla doznała tu wydłużenia w odosobnione pasemko, o ściśle ograniczonej długości i wyraźnych końcach, wyglądające wskutek tego inaczej niż żużel w żelazie pudlarskiem, gdzie bardzo długie i liczne pasma żużla występują w gęstych warstwowych skupieniach.

Tlenki. O ile desoksydacja żelaza zlewnego nie została przeprowadzona dokładnie, co nie jest rzeczą prostą i łatwą, pozostaje w niem pewna ilość tlenku nie zredukowanego, który jak wiadomo oddziaływa niekorzystnie, zwiększając kruchość żelaza, zwłaszcza przy obróbce gorącej. Tlenki występują wtedy na nietrawionej próbie, zwłaszcza w żelazie wyrobionem metodą naczynniową (Thomasa), w postaci bardzo drobnych plamek, często regularnie, na podobieństwo eutektyki rozsianych, jak to widzimy na rys. 50. Przy gorszym jeszcze stopniu desoksydacji spostrzec się dają obok tych drobnych ciałek także większe, w postaci żużlowatych kropelek lub otworków (rys. 51), wytwarzających się przy szlifowaniu próby, gdy kruche wydzielania tlenków wykruszają się wskutek obróbki.

Stale specjalne. Jak wiadomo, stale będące stopami żelaza, węgla i jednego lub więcej innych metali, z których najważniejsze są dla stali narzędziowych chrom i wolfram, dla konstrukcyjnych nikiel, chrom a także wanad, mogą mieć strukturę czworakiej postaci: perlityczną, jak żelazo węgliste normalne, martenzytyczną, jak żelazo węgliste hartowane, austenityczną i karbidyczną. Dwie pierwsze nie różnią się w obrazie mikroskopowym od stali węglistych i nie można ich wskutek tego rozpoznać tym sposobem badania.

Struktura stali austenitycznych, jakiej żelazo węgliste nie przybiera w stanie zimnym, jest właściwa tylko stalom stopowym, a cechą, po jakiej można ją rozpoznać, są utwory bliźniacze, występujące w ziarnach kształtu zresztą normalnego, przypominającego ferryt, jako równoległe, proste linje, przecinające ziarno.

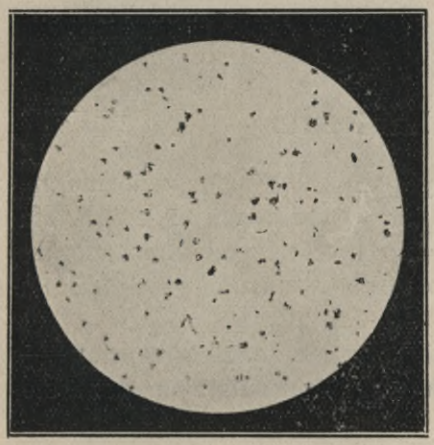
Na rys. 52 widzimy obraz tej struktury, z licznemi utworami bliźniaczemi. Postaci te są prawdopodobnie wynikiem translacji, t. j. przesunięcia elementów krystalicznych, ale spotykamy je tylko w stalach austenitycznych i w ten sposób możemy je mikroskopowo rozpoznać.

Struktura karbidyczna, właściwa np. stalom szybkotnącym, przedstawia w obrazie mikroskopowym zbiorowisko globoidalnych ciałek cementytu, będącego zwykle karbidem wielokrotnym, w eutektyce, przypominającej eutektykę w surowcu białym, t. z. ledeburyt. O tych stalach jest mowa w ustępie o hartowaniu, gdzie także znajdują się odnośne rysunki (79 i 80).

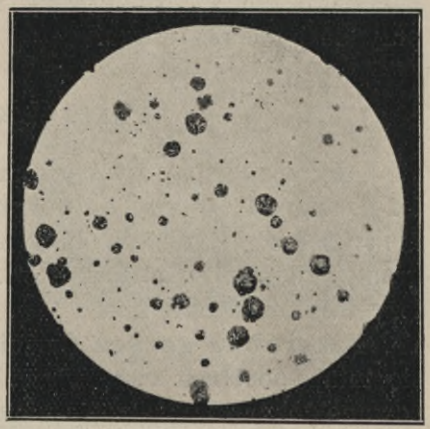
Odlew stalowy. Charakterystykę tych wyrobów, nie przerabianych kuźniczo, stanowi budowa wybitnie krystaliczna, wytworzona podczas

swobodnego tężenia żelaza stopionego i wlanego do formy, niezakłócona dalszą przeróbką. Zależnie od szybkości studzenia wytworzy się struktura Widmannstättena w wolno stygnącym odlewie czy bloku (rys. 53), a globoidalna, gdy stygnięcie było szybsze, jak to widzimy na zdjęciu wykonanem z małego bloka stali szybkotnącej, odlanego z pieca elek-

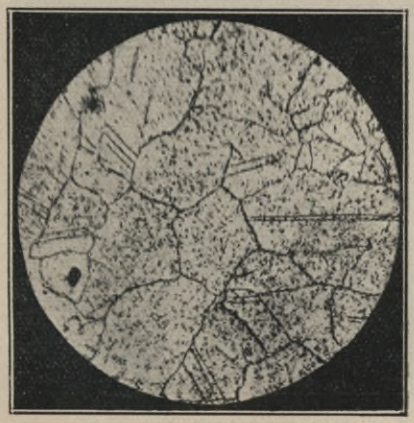
Rys. 49 (× 100, nietraw.).



Rys. 50 (× 100, nietraw.).



Rys. 51 (× 100, nietraw.).



Rys. 52 (× 300, kw. az.).

Rys. 53 (× 100, kw. az.).

trycznego (rys. 54). Taką strukturę łatwo odróżnić od budowy mikroskopowej żelaza przerabianego kuźniczo (np. walcowanego), zwłaszcza że nierzadko napotkać można w obrazie nietrawionej próby stężałe kropelki żużla, nienaruszone obróbką.

W odlewach stygnących nie tak wolno, aby mogła powstać struktura Widmannstättena, ale także nie tak szybko, by powstała struktura drobniejsza, tworzą się nieraz ziarna globoidalne, w których drugi składnik wykrystalizował się drzewkowato. Na rys. 55 w dużych ziarnach perlitu o zaokrąglonych konturach, widzimy grubą sieć ferrytu, otaczającą ziarna i charakterystyczne jego twory (dendryty) wewnątrz pól perlitycznych.

Gdy odlew był żarzony dla usunięcia naprężeń lub regeneracji struktury gruboziarnistej, spotykamy mniej wybitną pierwotną krystalizację, ale kształt ziarn mimo to nie będzie tak umiarowy i drobny, jak w żelazie walcowanem, okrągłe kropelki żużla nie doznają zmiany, a na powierzchni odlewu znajdziemy warstwę odwęgloną z powodu żarzenia przy dostępie powietrza.

Przeróbka mechaniczna.

Aby rozpoznać czy i jak materjał był przerabiany mechanicznie, należy pamiętać, że zupełnie odmiennie działa odkształcenie żelaza w stanie rozżarzenia, niż w stanie zimnym lub lekkiego ogrzania, poniżej granicy plastyczności (ok. 600°). Dlatego te dwa rodzaje przeróbki należy traktować odrębnie.

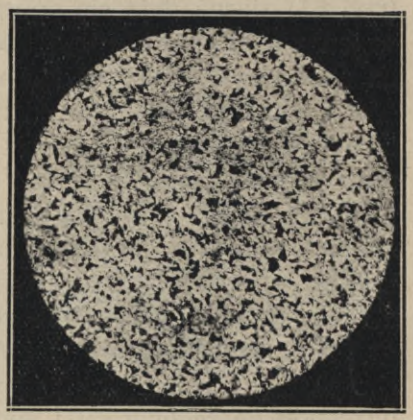
Przeróbka gorąca (kuźnicza). Odkształcenia plastyczne odbywają się tutaj sposobem walcowania lub kucia (wzgl. tłoczenia); pierwsze, stosowane do wyrobu walcówek, ma wybitny charakter działania jednokierunkowego. Na tej podstawie należy szukać cech, pozwalających rozpoznać tę przeróbkę, badając przedewszystkiem strukturę w przekroju podłużnym t. j. w kierunku długości walcówki. Kształt ziarn nie daje nam tutaj wskazówki, — są one tak umiarowe i tej samej wielkości, jak w przekroju poprzecznym, który widzimy na rys. 56; jedyną cechą, odróżniającą je od ziarn surowego materjału (bloku lub odlewu) jest drobnoziarnistość struktury, nieosiągalna w tym stopniu żadnym innym procesem poza

Rys. 54 (× 100, kw. az.).

przeróbką kuźniczą. O ile materjał jest czysty, nie wykaże żadnych innych cech, żelazo jest jednak zwykle zanieczyszczone, choćby w stopniu nieznacznym, żużlem, pochodzącym z desoksydacji. Kropelki jego, nawet bardzo drobne, doznają wydłużenia, tak jak żelazo, nie podlegając jednak rozpadowi na umiarowe ziarna krystaliczne, tworzą wydłużone ciałka, rozmiarów nieraz bardzo małych (rys. 57), a czasem większych, jak widzieliśmy na rys. 49, i to jest charakterystyką, wystarczającą zupełnie do rozpoznania żelaza walcowanego.

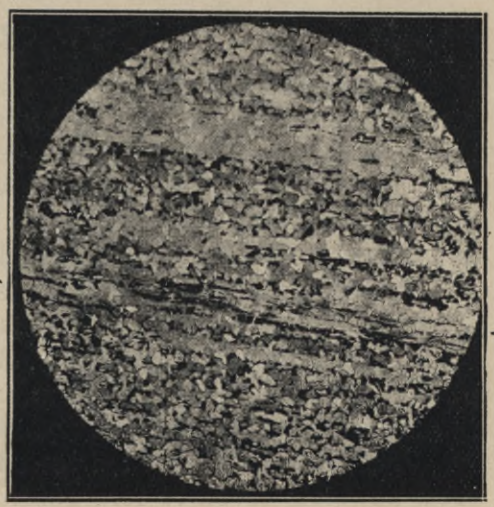
Jeżeli kropelek żużla jest więcej, wytwarza się w walcówce struktura warstwowa (pasemkowa), jak to widać na rys. 58, gdzie w pasem-

Rys. 55 (× 80, kw. pikrynowy).



Rys. 56 (× 100, kw. az.).

Rys. 57 (× 100, nietraw.).



Rys. 58 (× 80, kw. az.).

kach prawie czystego ferrytu widoczne są, zwłaszcza w warstwie wskazanej strzałkami, pasemka prawie czystego żużla.

Przeróbka przez kucie czy tłoczenie powoduje spłaszczenie kropelek żużla, wyglądające tak samo w przekroju, jak w żelazie walcowanem, jeżeli jednak działanie jej nie jest jednokierunkowe, np. przedmiot podlegał kuciu z różnych stron i w zmiennych kierunkach, wtedy pasemka żużla doznają skrzywienia (rys. 59), a wytworzona podczas poprzedniego walcowania struktura pasemkowa będzie odkształcona, jak to widzimy na rys. 60.

Przeróbka zimna (zgniot). Odkształcone tym sposobem przedmioty rozpoznać można po wydłużeniu ziarn; przy słabym zgniocie (rys. 61) ziarna dają się dobrze rozróżnić, jakkolwiek ich spłaszczenie w jednym kierunku a wydłużenie w drugim jest widoczne. Gdy obróbka na zimno była wydatna, ziarna wydłużają się, przyjmując włóknistą postać i z trudnością tylko można je rozróżnić (rys. 62 u góry), przy daleko posuniętym zgniocie jest to niemożliwe (u dołu). Często występują rysy spowodowane forsowną obróbką.

Gdy żelazo zgniecione zregenerujemy, powraca umiarowy kształt ziarn, a przebytą obróbkę zimną rozpoznać można tylko wtedy, gdy natężenia wywołujące zgniot były niejednakowe, wtedy bowiem po regeneracji występują grupy ziarn różnej wielkości, często wybitnie odmiennej.

O ile materjał był żużlowaty, i wydłużony podczas walcowania, kruche pasemka żużla popękają w czasie zimnej obróbki, to pęknięcia te pozostają po regeneracji i występują wyraźnie na nietrawionej próbie, jak to jest widoczne na rys. 63.

Wpływ ogrzewania.

Większość procesów przeróbki żelaza odbywa się przy wysokiej temperaturze, potrzebnej albo na to, aby żelazo stało się plastycznem (dla kucia, usuwania naprężeń, następstw zgniotu i t. p.), co się osiąga już powyżej 600°, albo dla przeprowadzenia go w stan roztworu stałego (dla hartowania, cementowania, regeneracji), do czego wymagane jest przekroczenie temperatury krytycznej A_3, o wysokości zależnej od zawartości węgla.

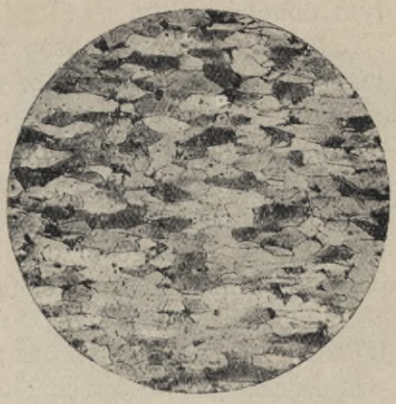
Wiadomo, że przy wysokich temperaturach, wskutek ułatwionych procesów krystalizacyjnych, utleniającego wpływu powietrza i spalin i t. d., zachodzą w żelazie zmiany, określane jako przegrzanie, przepalenie, odwęglenie, przeżarzenie. Postaci mikroskopowe, jakie żelazo w takich wypadkach przybiera, omówimy na przykładach.

Przegrzanie. Objaw ten powoduje gruboziarnistość materjału, przyczem powstają osobliwe formy ziarn, charakterystyczne dla przegrzania, jak to widzimy na rys. 64, przedstawiającym wielkie ziarno ferrytu w że-

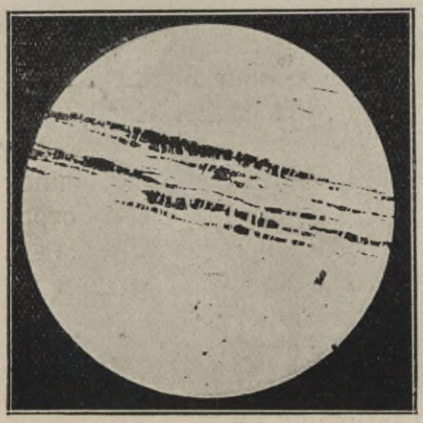
Rys. 59 (× 100, nietraw.).

Rys. 60. (× 100, kw. az.).

Rys. 62 (× 100, kw. az.).



Rys. 61 (× 150, kw. az.).



Rys. 63 (× 100, nietraw.).

Rys. 64 (× 100, kw. az.).

lazie przegrzanem. Zamiast zwykłego kształtu wielościanu mamy tu dziwacznie rozrośniętą figurę, z odnogami w różnych kierunkach wysuniętemi, zależnie od tego jak się zachowały ziarna sąsiednie wobec dążności kryształu do wzrostu ich kosztem. Na rys. 65 widzimy proces przegrzania będący w toku; dopiero pewne grupy kryształów (w środku rysunku) są nim objęte, inne zaś nie biorą w nim udziału i zachowały jeszcze swą drobną i umiarową postać.

Daleko posunięte przegrzanie wytwarza w żelazie strukturę geometryczną (Widmanstättena), niebezpieczną dla odporności mechanicznej żelaza, zwłaszcza na uderzenie. Widzimy ją na rys. 66.

Częstym również objawem przegrzania jest skupianie się jednego składnika w postać siatki, skąd pochodzi nazwa struktury siatkowej. Przedstawia ją rys. 67, — u góry w materjale podperlitycznym: sieć ferrytu otaczająca perlit, u dołu w żelazie twardem: — sieć cementytu dokoła perlitu.

W jak doniosły sposób przegrzanie zmniejsza spójność ziarn w stali, mamy przykład na rys. 68, przedstawiającym stal narzędziową węglistą, przegrzaną bardzo mocno, aż do wystąpienia oznak przepalenia t. j. iskier, i nagle w wodzie ochłodzoną (zahartowaną). Oprócz tego że warstwy graniczne między poszczególnemi, bardzo wielkiemi ziarnami martenzytu są naogół bardzo szerokie, widzimy, że niektóre ziarna, prawdopodobnie blisko swego brzegu przecięte, wykruszyły się, zostawiając puste otwory, bardzo umiarowych (geometryczynych) kształtów. Pręt, na którym zrobiono ten zabieg, był po nim tak kruchy, że upuszczony na posadzkę, łamał się. Niewątpliwie prócz przegrzania działa tu także przepalenie, nadwerężające spoistość ziarn; oznak wybitnych tego procesu, o którym jest mowa w ustępie następnym, nie można jeszcze zauważyć na obrazie.

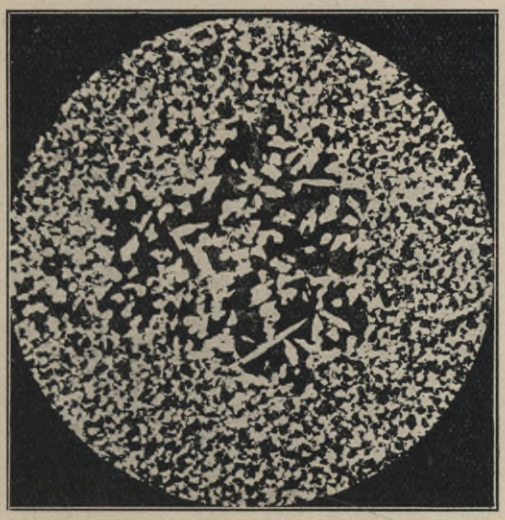
Przepalenie. Stal przegrzana w atmosferze utleniającej wykazuje na granicy ciemne plamki, otaczające grupy ziarn. Są to tlenki i żużle, spowodowane dyfuzją utleniających gazów do wnętrza, przyczem wytwarzające się, lekkotopliwe związki przechodzą w stan płynny i przybierają kształt kropelek. Im dłużej trwa proces, tem siatka plamek jest na obrazie zupełniejsza i wyraźniejsza.

Żelazo przepalone traci wszelką wartość i jest do użytku niezdatne; inkrustacje żużla, rozłożone zwykle siatkowo, czynią je kruchem, rozpadającem się pod uderzeniem młota. Niema sposobu regenerowania go, jak to się robi z żelazem przegrzanem — nadaje się więc tylko do przeróbki w piecu hutniczym.

Przepaleniu podlegają łatwiej rodzaje żelaza o większej zawartości węgla, a więc o niższej temp. topliwości; zanieczyszczenia, topiące się także łatwiej, usposabiają również żelazo do przepalenia.

W praktyce badania żelaza zdarzają się dość rzadko wypadki przepale-

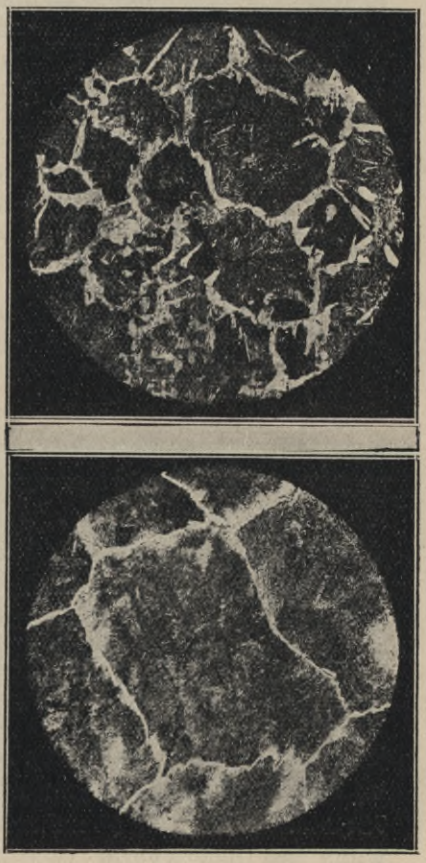
nia, w przeciwieństwie do bardzo często spotykanych objawów przegrzania. Jest to wytłomaczone mniejszą możliwością takich wypadków w dobrze prowadzonym warsztacie, gdzie zaniedbanie dozoru przerabianego materjału rzadko zachodzi.



Rys. 65 (× 80, kw. az.).

Rys. 68 (× 80, kw. az.).

Rys. 66 (× 100, kw. az.).



Rys. 67 (× 100, kw. az.).

Na rys 69 widzimy (u góry) obraz nienatrawionej próby żelaza przepalonego, uwidoczniający rozkład kropelek żużla, i natrawionego (u dołu), wskazujący kształt ziarn w stanie przegrzania. Na obrazie tym, około każdej kropli żużla widoczna jest otaczająca ją sfera, wskazująca na zmiany chemiczne, jakie tam zachodzą.

Stal szybkotnąca przepalona przy nieoględnem ogrzewaniu przed hartowaniem, jest widoczna na rys. 70. Grupy ziarn eutektyki z kulkami cementytu otaczają ciemne smugi utlenionych składników stopu, przerywając zupełnie ich spójność, wskutek czego stal taka przy słabem nawet nacisku pęka i rozpada się na drobne kawałki.

Odwęglenie. Stal żarzona, a niedość chroniona od działania utleniającej atmosfery pieca, ulega bardzo szybko odwęgleniu, na powierzchni najsilniejszemu, zmniejszającemu się stopniowo aż do warstwy nienaruszonej, jednak sięgającemu dość głęboko. Na rys. 71 widzimy stal perlityczną, która wskutek rozżarzenia w ognisku kowalskiem w sposób normalny, uległa odwęgleniu, zupełnemu na powierzchni, a sięgającemu do głębokości około 0·5 *mm*.

Rys. 69 (×80, obr. górny nietraw, dolny kw. az.).

Hartowanie.

Stal węglista. Wiadomem jest, że martenzyt, postać żelaza węglistego zahartowanego, może mieć różną formę krystaliczną, na co składa się wielkość ziarn i ich kształt. Stal silnie przegrzana przed hartowaniem daje martenzyt w postaci wydatnych igieł o budowie widmannstättenowskiej, na tle jednolitem (austenitycznem). Taką strukturę widzimy na rys. 72; stal w ten sposób zahartowana jest nadzwyczaj twarda, ale z powodu wielkiej krucho-

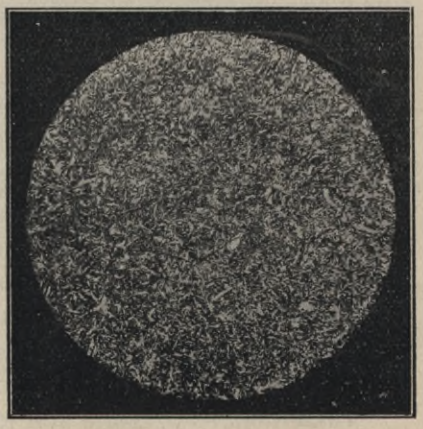
ści, niezdatna do użytku. Im ogrzanie przed hartowaniem mniej przekraczało temperaturę A_3, tem struktura igiełkowa staje się mniej wybitną i drobniejszą. Nie jest rzeczą obojętną jaką strukturę ma stal, zwłaszcza narzędziowa, po zahartowaniu; — im jest drobniejsza, im igiełki są mniej widoczne, — ile możności zupełnie się nie uwydatniają, tem narzędzie lepiej się zachowuje podczas pracy, ostrze jego jest mniej skłonne do ukruszenia. Dlatego najpożądańsza struktura hartowanej stali jest bezpostaciowa, występująca przy zahartowaniu tuż ponad A_3 (w stalach perlitycznych A_1), nazwana „hardenitem“.

Rys. 73 przedstawia martenzyt stali mniej niż poprzednia przegrza-

Rys. 70 (× 150, kw. az.).

Rys. 71 (× 150, kw. az.).

Rys. 72 (× 100, kw. az.).



Rys. 73 (× 100, kw. az.).

nej, rys. 74 martenzyt stali tylko nieznacznie ponad punkt krytyczny ogrzanej przed hartowaniem i dlatego mającej najdrobniejszą strukturę.

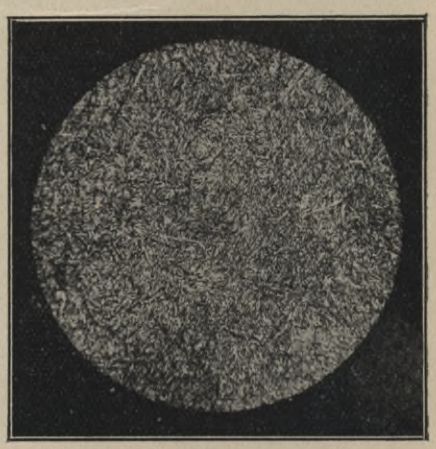
Na rys. 75 widzimy po lewej stronie najwybitniejsze przełomy otrzymane przy t. z. próbie Metcalffa. Wykonywa się ją dla wypośrodkowania najodpowiedniejszej temperatury hartowania stali węglistej, której punkt krytyczny nie jest znany. Nakarbowaną na 6—8 części sztabkę ogrzewa się z jednej strony do możliwie najwyższej temperatury, i gdy zaczną występować objawy przepalenia (iskry), nagle się ją studzi (hartuje) w wodzie. Odłamując następnie kawałki oddzielone karbami, obserwujemy wielkość ziarn i wyszukujemy przełom o strukturze najdrobniejszej, a więc oznaczający najodpowiedniejsze zahartowanie. Pamiętając (trzeba mieć wprawę lub próbę powtórzyć) barwę żaru, jaką próba miała w tem miejscu w chwili hartowania, wiemy do jakiego stopnia należy rozgrzać badaną stal, aby ją najlepiej zahartować. Jaka jest struktura tak otrzymanych prób, pokazuje prawa strona rysunku.

Obraz *A* przedstawia stal przepaloną, z siatkowo skupionemi tlenkami, otaczającemi nadzwyczaj grubą strukturę martenzytyczną, z oznakami bardzo wysokiego przegrzania. Na obrazie *B* widzimy strukturę jeszcze bardzo grubą, jednak ze znacznie słabszemi oznakami przegrzania. Obraz *C* wskazuje na dość grubą strukturę martenzytyczną, dowód przegrzania, bez przepalenia, *D* na materjał zahartowany należycie (bardzo drobny martenzyt). Na obrazie *E*, wziętym ze środka przełomu, widzimy stal niezahartowaną, lekko nadperlityczną, dowód, że była ogrzana poniżej temperatury A_1.

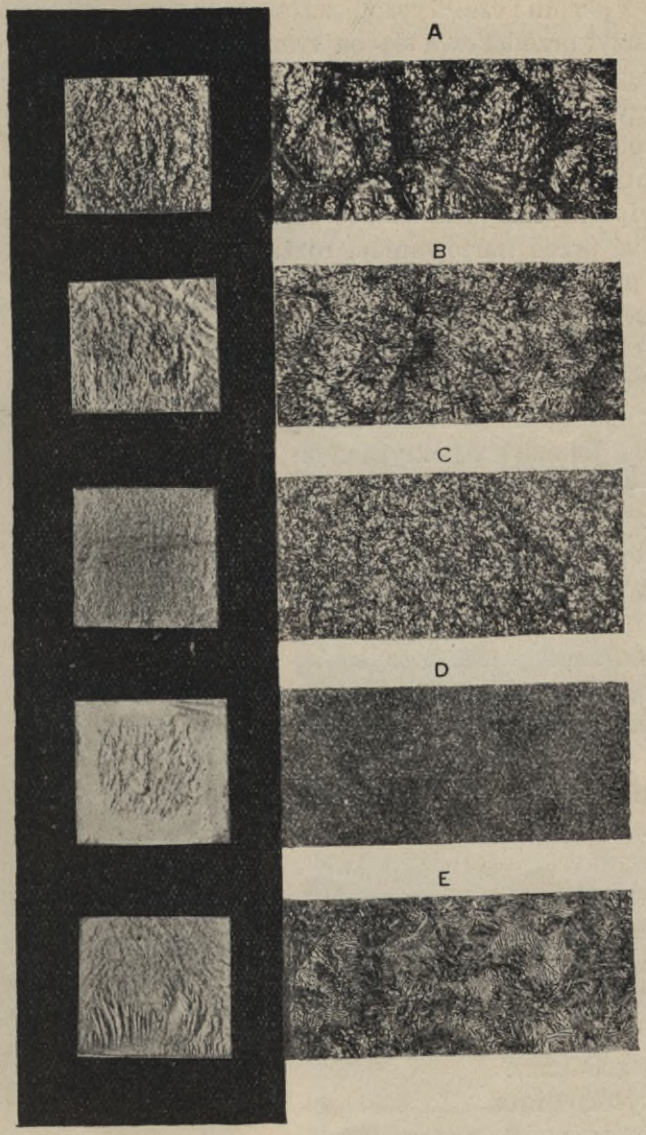
Próba Metcalffa, stosowana często w praktyce hartowniczej w warsztatach i fabrykach mniejszych, kupujących u handlarzy stal narzędziową o nieznanej zawartości węgla i niewiadomego pochodzenia, nie ma zastosowania w warsztatach wielkich, pracujących racjonalnie i używających stali o własnościach znanych i określonej temperaturze hartowania.

Zachowanie przy tym procesie należytej temperatury jest sprawą największej wagi, — próba Metcalffa poucza jak wielkie różnice w strukturze, a więc także w zachowaniu się stali w obróbce powoduje zastosowanie nieodpowiedniego ogrzania, które doprowadzone za wysoko, wywoływa przegrzanie, za nisko, nie doprowadza do zahartowania.

Taka niedość ogrzana stal jest często mieszaniną kilku struktur, jak to



Rys. 74 (× 100, kw. az.).

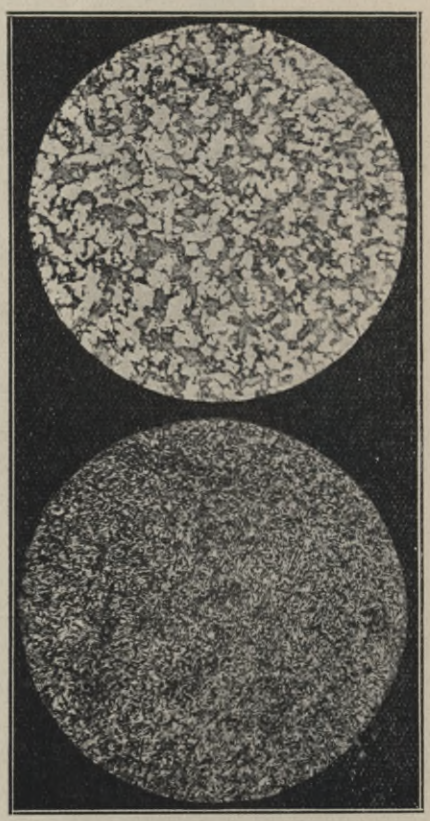


Rys. 75 (lewa strona × 1, przełom, prawa strona × 100, kw. az.).

widać na rys 76 u góry, będącym obrazem stali o zawartości 0·42% węgla, ogrzanej do temperatury leżącej między A_1 i A_3, i zahartowanej. Białe pola przedstawiają ferryt, który w temperaturze, do jakiej stal była ogrzana, nie mógł się całkowicie rozpuścić, i znajduje się w otoczeniu martenzytu, wytworzonego z perlitu i części rozpuszczonego w panującej temperaturze ferrytu. Martenzyt przedstawia się na rysunku jako szare wysepki, między niemi występują dość liczne, ale drobne, czarne punkty troostytu[1]), który się wytworzył wskutek niedość wysokiej temperatury hartowania.

Dolny obraz rysunku przedstawia tę samą stal, zahartowaną powyżej temperatury A_3, o strukturze martenzytycznej, drobnej.

Stal nadperlityczną, która z powodu wysokiej temperatury krytycznej nie może być przed hartowaniem rozżarzona aż do zupełnego roztworu, hartuje się przy temperaturze przekraczającej około 50° temp. A_1, aby otrzymać roztwór perlitu, a nierozpuszczoną resztę cementytu zachować jako twardy składnik hartowanego narzędzia.



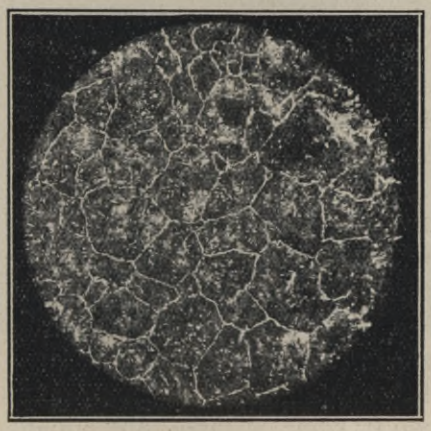
Rys. 76 (+ 100, kw. az.).

Ponieważ jednak cementyt w takich stalach występuje zwykle, — zwłaszcza po żarzeniu, siatkowo (rys. 77), i w tej postaci robiłby narzędzie kruchem, przekuwa się silnie rozżarzoną sztabkę, rozkruszając siatkę cementytu na drobne odłamki, które w wysokiej temperaturze ściągają się w postać bardzo drobnych kulek. Rys. 78 przedstawia stal wysoko węglistą z nożyków do golenia (Gilette); widzimy tu w polu martenzytycznem (z łagodnego hartowania) mnóstwo niezmiernie drobnych kulek cementytu, między któremi tylko nielicznie występują grubsze; nawet te kulki są jednakże nadzwyczaj drobne, — gdyż zważywszy powiększenie (× 300), największe ziarnko w środku obrazu ma średnicę ok. 0·004 *mm*.

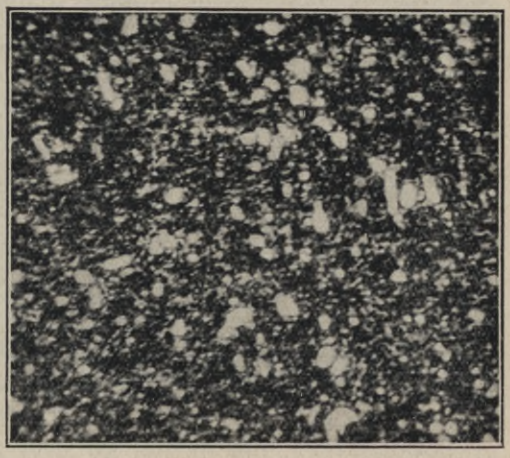
Stal szybkotnąca. Ta stal zawierająca oprócz węgla chrom i wol-

[1]) W „Żelazie“ St. Anczyca jest ta struktura nazywana „osmondytem“. Ponieważ w ostatnich latach zgodzono się powszechnie, aby nie używać tej nazwy, oznaczającej tylko pewną, ściśle określoną (przez Heyna) fazę odpuszczonej stali, i zastąpić ją nazwą troostytu, jest tutaj ta nazwa wprowadzona w miejsce użytej w „Żelazie“.

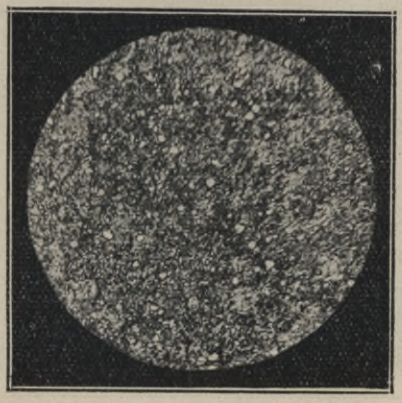
fram w wielkich ilościach jako podstawowe składniki, — czasem jeszcze inne dodatki, bywa zupełnie inaczej traktowana przy hartowaniu, tak pod względem rozgrzania, które jest o wiele wyższe, jak i chłodzenia, stosunkowo łagodnego. Struktura jej w obrazie mikroskopowym wygląda odmiennie niż stali węglistej. Na rys. 79 przedstawiającym stal szybkotnącą (0·64% węgla, 4·0% chromu, 19·6% wolframu, 1·6% wanadu), niehartowaną ale tylko wykutą w sztabkę, widzimy liczne, bardzo drobne (powiększenie × 1000), różnej wielkości i kształtu ziarna cementytu (wielokrotnego) w eutektyce kropelkowej, zbliżonej postacią swą więcej do ledeburytu (rys. 104), niż do perlitu. Jest to struktura zwana karbidyczną (str. 32). Po wykuciu narzędzia w potrzebny dla noża kształt i zahartowaniu, otrzymujemy strukturę przedstawioną na rys. 80 w po-



Rys. 77 (× 100, kw. az.).



Rys. 79 (× 1000, kw. az.).



Rys. 78 (× 300, kw. az.).

Rys. 80 (× 1000, kw. az.).

staci bardzo licznych drobnych kulek w roztworze stałym, przypominającym łagodny martenzyt. Istota składników strukturalnych, w których tkwią ziarneczka karbidu, nie jest dotąd dostatecznie zbadana i wyjaśniona.

Odpuszczanie.

Proces ten, związany ściśle z hartowaniem, przeprowadza się u zahartowanych narzędzi dla zmniejszenia ich zbytniej kruchości a powiększenia wytrzymałości, a u części maszyn dla t. zw. ulepszenia termicznego, polegającego na zahartowaniu a następnie odpuszczeniu ich przy stosunkowo wysokiej temperaturze (550—650°), celem wytworzenia bardzo drobnej struktury, nadającej stali znacznie większą wytrzymałość, niż w stanie normalnym, a niewiele tylko obniżającej jej ciągliwość.

Stanom odpuszczenia odpowiada, jak wiadomo, właściwa struktura, która przy niższych temperaturach odpuszczenia (w stalach narzędziowych węglistych) jest troostytyczna[1]), przy wyższych (stale konstrukcyjne, ulepszane termicznie) sorbityczna.

Troostyt. Na rys. 81 widzimy strukturę narzędzia ze stali węglistej, odpuszczonego po zahartowaniu. W martenzycie o bardzo łagodnej budowie rozsiane są jednostajnie czarne plamki troostytu.

Strukturę troostytyczną spotyka się także w stalach nieodpuszczonych, zahartowanych niezbyt nagle, — przyczem następuje t. zw. rozdwojenie punktu przemiany, wytwarzające podwójną strukturę, martenzytyczno-troostytyczną. Gdy np. narzędzie dość grube ma być zahartowane należycie, t. j. mieć strukturę łagodnie-martenzytyczną a nie grubo-igiełkową, nie można go zbyt długo trzymać w żarze, aby nie dopuścić do przegrzania. Wtedy ogrzewa się narzędzie tak długo, aż temperatura jego wierzchniej warstwy będzie odpowiednia do hartowania, i natychmiast narzędzie chłodzi. Skutek jest taki, że warstwa zewnętrzna będzie zahartowana należycie, t. j. martenzytyczna, wewnętrzna zaś, ochłodzona mniej szybko a nie dość ponad temp. A_3 ogrzana, znajdzie się w warunkach sprzyjających rozdwojeniu punktu przemiany, i otrzyma strukturę mieszaną, zawierającą ku wnętrzu coraz więcej troostytu. Taką strukturę widzimy na rys. 82. Jest ona w warstwie bliskiej powierzchni (u góry) jasna (martenzytyczna), ku wnętrzu coraz więcej nasycona troostytem, w warstwie głębszej (u dołu) coraz uboższa w wysepki martenzytu, przechodzącego całkowicie w troostyt.

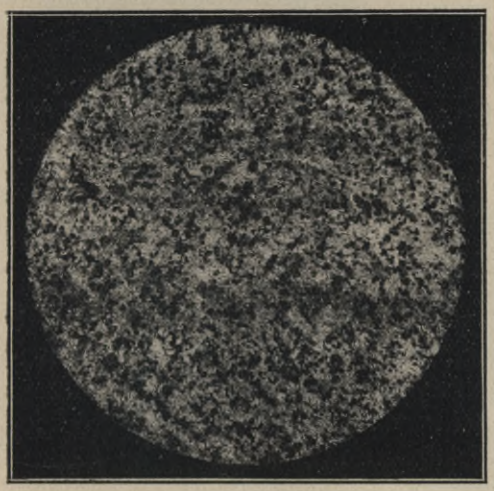
Sorbit. Strukturę sorbityczną stali specjalnej przedstawia w słabem powiększeniu rys. 83, w silniejszem rys. 84; jest ona nadzwyczajnie drobna, tak że dopiero w silnem powiększeniu można rozróżnić składniki

[1]) P. odsyłacz na str. 44.

jej budowy. Tak drobna budowa tłomaczy bardzo dobre własności mechaniczne stali ulepszanych termicznie.

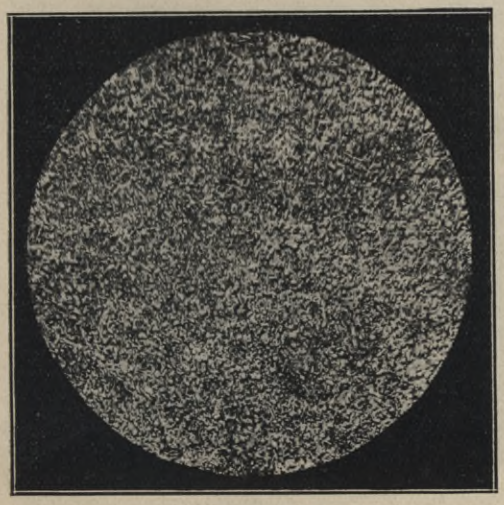
Nawęglanie.

Badając przedmioty cementowane na powierzchni, używamy przedewszystkiem słabych powiększeń,

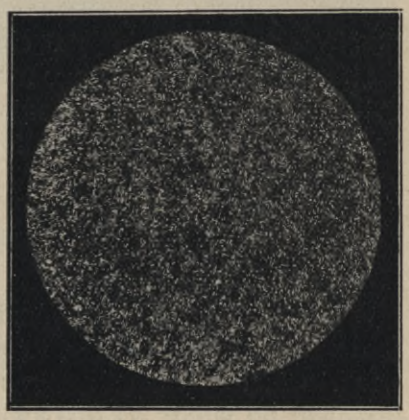


Rys. 81 (× 150, kw. az.).

Rys. 82 (× 100, kw. az.).



Rys. 84 (× 300, kw. az.).



Rys. 83. (× 100, kw. az.).

aby na obrazie zobaczyć całą warstwę nawęgloną, jak to jest widoczne na rys. 85; nazewnątrz (u góry) jest nawęglenie najsilniejsze, przechodząc zwolna do miejsca, które już nie było nawęglone (u dołu), posiadającego zatem budowę taką jak cały przedmiot, który nawęglono tylko na powierzchni. Przy takiem postępowaniu mamy możność ocenienia, czy nawęglenie jest przeprowadzone prawidłowo, ze stopniowem przejściem zawartości węgla, czy może warstwa bogata w węgiel przechodzi raptownie w nienawęgloną, tworząc na niej twardą, łatwo odpadającą skorupę.

W pewnych wypadkach mamy do czynienia z nawęgleniem przypadkowem, jak się to dzieje przy złączach stopnych (stapianych), wykonanych zapomocą palnika acetylenowego. Badając szew stopienia, spotykamy się wtedy z nadmiarem czystego karbidu, wydzielonego w stopionym materjale najczęściej w postaci siatkowej. Nawęglenie takie jest czasami bardzo silne, materjał złącza ma wtedy postać zbliżoną zawartością cementytu do surowca białego (rys. 86).

Przymieszki.

Oprócz węgla, który czyto w postaci cementytu czy grafitu lub węgla żarzenia odróżnia się w żelazie, tlenków i przymieszek żużlowatych, — nie można drogą mikroskopową wykryć innych zanieczyszczeń, chyba że występują jako eutektyki (siarczek żelaza, fosfor), które spotykamy w żeliwie i we właściwem rozdziale omówimy.

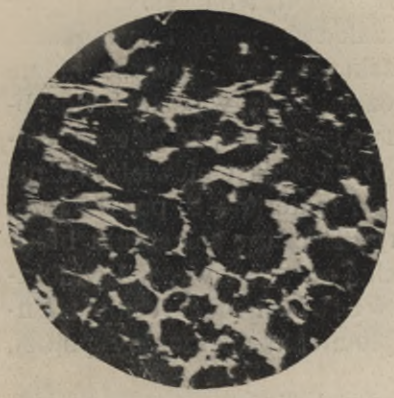
Są zresztą metody makroskopowe, pozwalające stwierdzić istnienie przymieszek fosforu i siarki w żelazie, i sposób ich rozłożenia.

W małych próbach, nie nadających się do makroskopji, można mikroskopowo stwierdzić zawartość fosforu, wytrawiając przez bardzo krótki czas wypolerowaną próbę w roztworze chlorku amonowo-miedziawego (makroskopowy odczynnik Heyna). Miejsca zawierające fosfor występują na obrazie jako ciemne plamy, jak pokazuje rys. 87, gdzie na tle ziarn prawie czystego ferrytu widoczne są zaciemnienia, wskazujące na zawartość fosforu w formie wydzieleń.

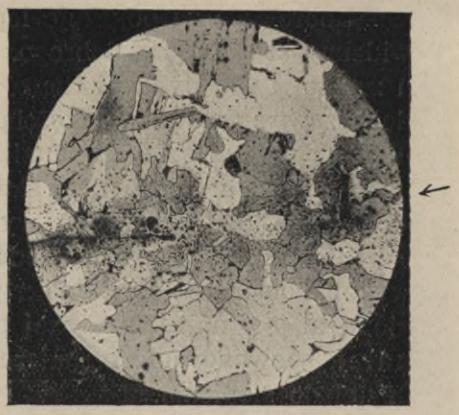
Rys. 85. (× 80, kw. az.).

Złącza.

Złącza, czyto wykonane przez zgrzewanie czy stapianie, należy badać makroskopowo, bo wtedy są one uwidocznione w całości, w związku



Rys. 86 (× 200, kw. az.).



Rys. 88 (× 100, kw. az.).

z oboma łączonemi materjałami, a wady i błędy wynikłe ze sposobu przeprowadzenia roboty dają się zauważyć i określić. Do mikroskopu należy uciekać się dopiero wtedy, gdy pewne szczegóły struktury i ciągłości złącza wymagają rozpatrzenia.

Przy badaniu złącza zależy na rozpoznaniu wad jego wykonania (przegrzanie, zanieczyszczenie, utlenienie, porowatość, żużlowatość, nawęglenie, odwęglenie i t. d.), co może dać kierownictwu odnośnego warsztatu wskazówki, jak ulepszyć wykonywanie tego procesu przez lepsze wyszkolenie robotników lub poprawę stosowanej metody.

Rys. 87 (× 80, kw. az.).

Zgrzewanie. Na rys. 88 widzimy część szwu (strzałki), wykonanego przez zgrzanie. Obraz uwidocznia wysoki stopień przegrzania kryształów w obu częściach łączonych, miejscami ich zupełne, krystaliczne złączenie się (środek obrazu), gdzieindziej (lewa strona) warstewki tlenku (zendry) i żużla, które przeszkodziły zetknięciu się ziarn. Ponadto okolica złącza jest przesycona tlenkami w postaci drobnych punkcików.

Dobroć złącza pokazuje lepiej obraz nietrawiony; na rys. 89 u góry widzimy szew złącza dobrego, zaznaczony zaledwie małemi wysepkami, a zresztą tylko pyłkami tlenków, nie przeszkadzających połączeniu, na dole szew w przeważnej części przerwany złożami żużla, w postaci odosobnionych wysepek a także długich pasem. Oczywista rzecz, że złącze z dolnego obrazu będzie bardzo słabe, z górnego natomiast niewiele różnić się będzie pod względem wytrzymałości od materjału z poza złącza.

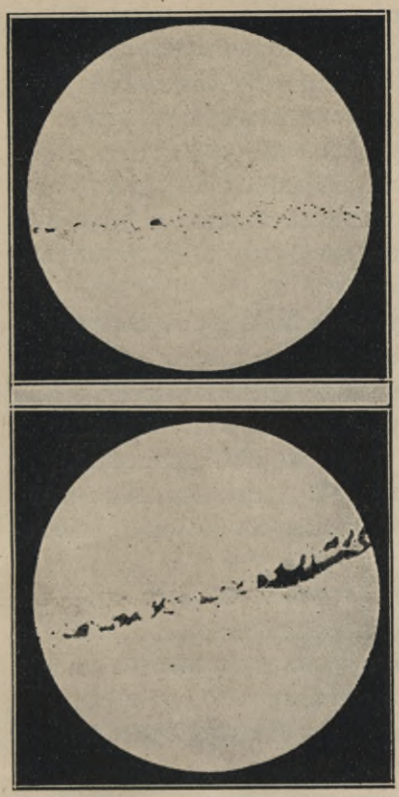
Stapianie. Rys. 90 przedstawia materjał złącza w połączeniu blach wykonanem przez stapianie zapomocą palnika acetylenowego. Uwidoczniona tu jest na nietrawionej próbie porowatość i przesycenie tlenkami, spowodowane nadmiarem tlenu w płomieniu mieszaniny palnej, użytej do stopienia.

Pęknięcia.

Ten częsty a tak dotkliwy objaw w przeróbce i stosowaniu praktycznem żelaza (konstrukcje), wynika z naprężeń wywołanych czyto przyczynami wewnętrznemi, mającemi swe źródło w przebytym procesie technicznym (odlewanie, kucie, hartowanie, zgniot, zanieczyszczenia), czy zewnętrznemi, wywołanemi działaniem sił w układzie konstrukcyjnym, — często zjednoczonemi i sumującemi się. Gdy nastąpi złamanie lub wybitne pęknięcie, widzimy to gołem okiem, dlatego z reguły odbywa się badanie pęknięć drogą makroskopową (str. 20). Ale bywają wypadki, że pęknięcia występują nie jako widoczne dla oka a więc znacznej wielkości szczeliny, ale jako rysy, trudno, a niekiedy zupełnie niedostrzegalne okiem, nawet uzbrojonem lupą kilkakrotnie powiększającą. Takie, niezmiernie drobne rysy, uwidocznia tylko powiększenie mikrospowe. Objaw to dla materjału niebezpieczny, bo nie daje się zauważyć, a nosi w sobie zarodek późniejszego złamania wskutek działania karbu, jakim jest każda rysa. Dlatego badając przyczyny złego zachowania się materjału, należy po makroskopowem zbadaniu go wybrać do obserwacji mikroskopowej próby z miejsc najwięcej „podejrzanych“, czyto z powodu swego położenia w uszkodzonym przedmiocie, czy na podstawie oględzin makroskopowych. Oglądając próbę, jak zawsze, najpierw przed natrawieniem, przeglądać należy całą jej powierzchnię dla przekonania się, czy obok zwykłych cech, spotykanych w materjale (żużel, tlenki), nie znajdują się jeszcze rysy. Oto kilka przykładów:

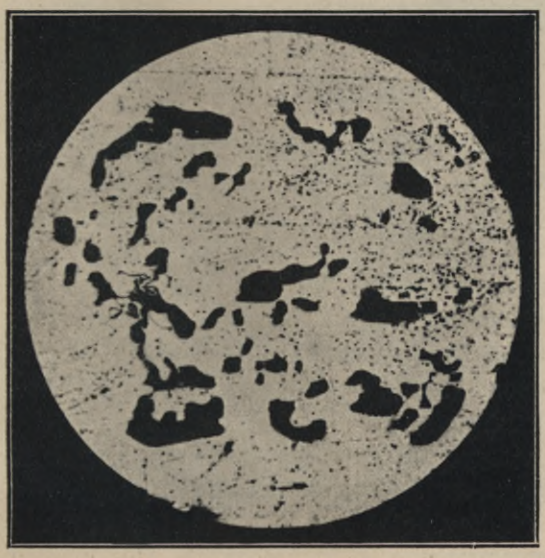
Na rys. 91 widzimy obraz zahartowanej stali, w której powstałe przy tym zabiegu naprężenia wywołały pęknięcia charakterystyczne, bo na granicach ziarn krystalicznych; rysy te, mające w najszerszem miejscu szerokość około 0·0025 *mm*, są niedostrzegalne gołem okiem. W obrazie, prócz rys widzimy liczne, równomiernie rozpylone tlenki.

Rys. 92 przedstawia materjał drążka używanego w wiertnictwie



Rys. 89 (× 50, nietraw.).

Rys. 91 (× 100, nietraw.).



Rys. 90 (× 80, nietraw.).

Rys. 92 (× 100, nietraw.).

nafty. Na obrazie górnym widoczne są bardzo cienkie, w różnych kierunkach rozgałęziające się rysy, przebiegające w pewnych miejscach wzdłuż małych, rozwalcowanych zawartości żużla. Na obrazie dolnym jest widoczne znacznie większe (poziome) złoże żużla z tego samego drążka, i do niego prostopadłe pęknięcie w materjale żużlowatym. Nie ulega wątpliwości, że urwanie się drążka podczas roboty wywołane zostało natężeniami podczas pracy, które w żużlowatem, a więc najmniej odpornem miejscu, spowodowały powstanie rys między złożami żużla (działanie karbu).

Podobny wypadek pęknięcia widzimy w żelazie pudlarskiem na rys. 93, przedstawiającym obraz przekroju poprzecznego walcówki. Pęknięcia wychodzą w różnych kierunkach od złóż żużla i są spowodowane działaniem karbu naroży szczelin, wypełnionych żużlem. Materjał, jako pudlarski uznać trzeba za bardzo czysty, tylko dość gruboziarnisty (na obrazie zastosowano słabe powiększenie). W tym wypadku próbę natrawiono dla zobaczenia struktury; rysy są nadzwyczaj drobne, niedostrzegalne dla oka nieuzbrojonego.

Powyższy objaw zaprzecza znanemu mniemaniu, że z powodu zawartości pasemek żużla w żelazie walcowanem pudlarskiem, jest ono odporniejsze na uderzenia od zlewnego, gdyż izolujące pasemka te, nie przenoszą pęknięć z jednego włókna żelaza na drugie.

Rys. 94 daje obraz materjału ze złącza stopnego, w miejscu z niem bezpośrednio sąsiadującem, ale nie stopionem. Widzimy tu w materjale bardzo silnie przegrzanym niezmiernie drobne, w różnych kierunkach po granicy ziarn rozchodzące się rysy, spowodowane naprężeniami, które powstały podczas kurczenia się stygnącego złącza.

Żelazo lane (żeliwo).

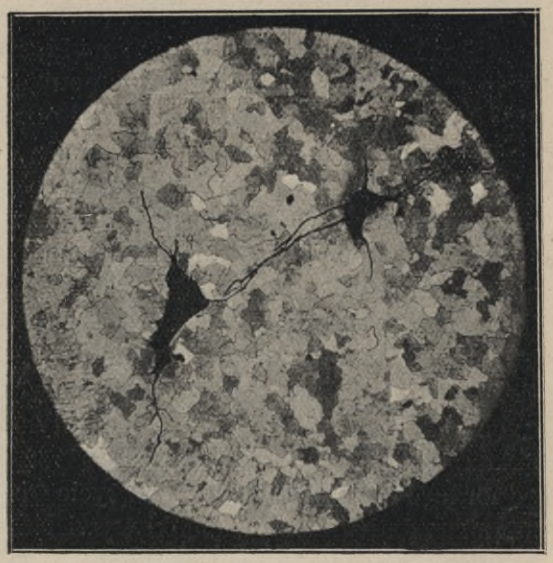
Ten najważniejszy materjał odlewniczy badamy ze względu na składniki istotne, zanieczyszczenia i jednolitość budowy. Składniki istotne, to przedewszystkiem perlit i grafit, z których wyłącznie powinnoby się składać normalnie zbudowane żeliwo; jednakże z powodu procesów krystalizacyjnych, odbywających się podczas tężenia odlewu a zależących od długości stygnięcia i zawartości przymieszek, przedewszystkiem krzemu i manganu, spotykamy w żeliwie często składniki, świadczące o stanie nieosiągniętej równowagi, a więc ferryt i cementyt, co badanie żeliwa komplikuje.

Z zanieczyszczeń możemy wykryć drogą mikroskopową zawartość fosforu i siarki, a także tlenków. Jednolitość zależy od tego, czy odlew, wskutek popełnionych błędów, nie jest porowaty, czy nie zawiera otworów (jam odlewniczych) i t. p. Rozkład składników

strukturalnych, przedewszystkiem grafitu, ich kształt i wielkość, wywierają również wpływ na jakość odlewu, więc muszą być zbadane.

Podobnie jak przy badaniu żelaza małowęglistego, oglądamy najpierw próbę nietrawioną, by zobaczyć zawartości niemetaliczne, zwłaszcza, że grafit najlepiej daje się tak obserwować; jakkolwiek jest on widoczny i na próbie natrawionej, to jednak przyćmiewa go obraz ciemnego perlitu. Na natrawionej próbie obserwujemy następnie inne składniki,

Grafit w postaci typowej występuje w skupieniach krystalicznych, najczęściej płatkowych, które w przekroju t. j. na obrazie mikroskopowym, mają kształt pasemek (rys. 95). Kształt ten może się jednak bardzo zmieniać, pasemka mogą być krótsze a grubsze, dłuższe a cieńsze, mniej lub więcej liczne, proste, powyginane; czasem grafit występuje w skupieniach bryłkowatych lub tworzy gniazda. Dla wytrzymałości materjału ma to wielkie znaczenie, dlatego kształt skupień grafitu należy starannie obserwować.



Rys. 93 (× 40, kw. az.).

Siarka. Drugim składnikiem, pozwalającym się rozpoznać na nietrawionej

Rys. 94 (× 100, kw. az.).

Rys. 95 (× 100, nietraw.).

próbie, a trudnym do rozeznania po trawieniu, jest siarka w postaci eutektyki siarczku żelaza z żelazem, występującej w obrazie nietrawionego żeliwa w krystalicznych skupieniach ciałek kształtu zbliżonego do sześcianu, jednolitej, szarej barwy. Na rys. 96 w środku obrazu widzimy takie skupienia eutektyki siarkowej, na rys. 97, w słabszem powiększeniu, rozrzucone po całym obrazie, obok czarnych pasemek grafitu, wydzielonych nielicznie i w drobnych rozmiarach; obecność siarki utrudnia wykrystalizowanie grafitu, chroniąc karbid od rozkładu. Z tego powodu odlewy zawierające nadmiar siarki są twarde i trudno obrabialne, a znalezienie w obrazie żeliwa eutektyki siarkowej, zwykle ten objaw tłumaczy.

Fosfor. Próba natrawiona uwidocznia obok grafitu zawarty w żelazie perlit, a także fosfor, występujący w postaci potrójnej eutektyki. Ma ona bardzo charakterystyczną postać widoczną na rys. 98, gdzie obok grubych, czarnych, prostolinijnych skupień grafitu i ciemnego perlitu, są widoczne pola eutektyki fosforowej, jasne, zasiane czarnemi punkcikami i kreskami, o postaci przypominającej rozlaną gęstą ciecz. W znacznych powiększeniach podana była na rys. 10.

Bardzo ważna dla wytrzymałości, odporności na ścieranie i jednolitości żeliwa jest postać zawartych w niem składników. Prawidłową jego strukturę, t. zw. żeliwo perlityczne, widzimy na rys. 99. Płytkowy grafit, może w zbyt rozległych, dla wytrzymałości niekorzystnych płatkach, otoczony jest czystym perlitem bez żadnego innego składnika, wskutek czego twardość żeliwa jest znaczna i jednakowa, odporność na mechaniczne zużycie duża, jak również wytrzymałość, z zastrzeżeniem wpływu, jaki wywiera na nią kształt i wielkość płatków grafitu.

Podczas stygnięcia stopionego żeliwa, gdy proces ten odbywa się wolno i długo, jest zdolność krystalizacyjna grafitu tak wielka, że powoduje rozkład karbidu zawartego w perlicie i pochłonięcie wydzielającego się węgla, wskutek czego powstają wyspy zupełnie pozbawione perlitu, jak to widać na rys. 100, gdzie szary perlit w dość nielicznych skupieniach, z małą ilością zawartego w nim grafitu, otoczony jest jasnemi, wielkiemi polami ferrytu, zawierającego nadzwyczaj gęstą sieć niezmiernie cienkich pasemek grafitu, tworzących prawie eutektyczną budowę.

Proces wyjałowienia żeliwa z perlitu jest doprowadzony do kresu w żeliwie, przedstawionym na rys. 101, gdzie w obrazie natrawionej próby widzimy już tylko ferryt, otaczający niezmiernie długie i gęste, gałązkowato powyginane skupienia grafitu. Taki odlew jest bardzo miękki (ferryt i zupełnie nieodporny grafit), a z powodu postaci grafitu ma bardzo niedostateczną wytrzymałość, oraz wielką kruchość, mimo ciągliwości ferrytu.

Rys. 96 (× 300, nietraw.).

Rys. 97 (× 100, nietraw.).

Rys. 98 (× 300, kw. az.).

Rys. 99 (× 200, kw. az.).

Rys. 100 (× 100, kw. az.).

Rys. 101 (× 100, kw. az.).

Gdy odlew był za prędko studzony, np. cienkościenny odlew w formie wilgotnej, spotykamy w nim, obok skąpo wykrystalizowanego grafitu, wolny cementyt, nieraz w wielkiej ilości (rys. 102), wskutek czego odlew taki ma powierzchnię twardą, bardzo trudno obrabialną.

Surowiec biały.

Materjał ten rzadko bywa przedmiotem technicznego badania, ponieważ nie stosuje się go do wyrobów przemysłowych. Nie można go jednak pominąć, raz dlatego, że dla początkującego badacza stanowi interesujący i pouczający objekt do ćwiczeń, a powtóre, że strukturę jego spotykamy jednak w wyrobach przemysłowych, jak leizna twarda i leizna kujna, — nieżarzona.

Typowy obraz prawidłowo studzonego surowca białego widzimy na rys. 103: ciemne wyspy perlitu, otoczone białym cementytem; miejsca o gęstych a drobnych skupieniach perlitu, pochodzą z rozkładu mieszaniny eutektycznej (ledeburytu).

Obraz surowca białego nie jest jednak zawsze tak normalny jak na powyższym rysunku. Wskutek wielkiej zawartości manganu, utrudniającego proces rozkładu roztworu stałego, niektóre surowce białe nie przedstawiają takiego stanu równowagi, ale zachowują, przynajmniej częściowo, strukturę materjału, jaką miał w chwili tężenia w temperaturze eutektycznej. Taką strukturę widzimy na rys. 104. Obok wydzielonego już cementytu (biały składnik na obrazie) i czarnych wysepek perlitu, widzimy ogromne pola mieszaniny eutektycznej (ledeburyt), która albo wcale nie uległa rozkładowi, jak to wskazują obszerne pola, zasiane bardzo gęsto drobnemi, szaremi punkcikami roztworu stałego (eutektyka formy igiełkowej), albo wykazuje stan częściowego rozkładu: pasemka równoległe w górnej części rysunku, z jednej strony szare, z drugiej przechodzące w czarny składnik (perlit).

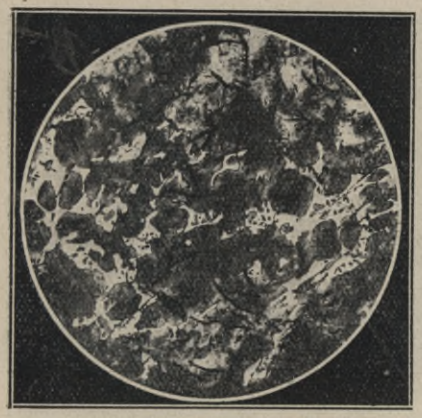
Twarda leizna.

Przełom twardej leizny podany był na rys. 3; na powierzchni posiada ona strukturę surowca białego, w głębszych warstwach jest czystem żeliwem. Przejście między temi dwiema strukturami powinno być stopniowe, aby twarda warstwa nie odpryskiwała na powierzchni odlewu, lecz była związana z szarym ośrodkiem. Obraz takiej budowy przejściowej widzimy na rys. 105, zdjętym z nietrawionej próby, gdzie wypukło rysujący się cementyt przegradza gniazdowato wykrystalizowany grafit. Inne strukturalne składniki nie są widoczne, gdyż próba

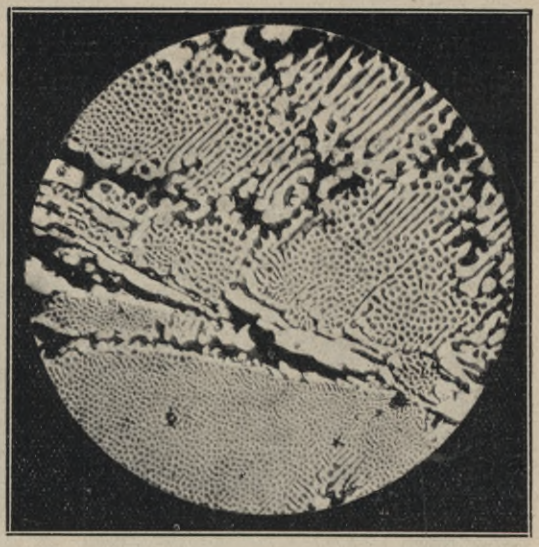
nie była natrawiona. Taka postać grafitu jest korzystna dla wytrzymałości odlewu, bo skupiony w nielicznych bryłkach, nie tworzy w materjale przerw, szkodliwych dla jego wytrzymałości.

Kujna leizna.

Materjał ten, podlegający wskutek procesu swego wyrobu może największym przemianom, — możnaby go porównać pod tym względem chyba ze stalami hartowanemi i odpuszczanemi, przedstawia się bardzo różnorodnie, zależnie od tego, w jakiem stadjum przeróbki jest badany i jaki rodzaj wyrobu przedstawia.



Rys. 102 (× 100, kw. az.).



Rys. 104 (× 300, kw. az.).

Rys. 103 (× 100, kw. az.).

Rys. 105 (× 100, nietraw.).

Na rys. 106 u góry widzimy obraz leizny przed żarzeniem; jest to typowa struktura materjału lanego (globoidy i dendryty) o charakterze surowca białego normalnie oziębionego t. j. mieszaniny cementytu (białego) i perlitu (szarego); perlit jest tu tak drobnopłatkowy, że przy użytem powiększeniu nie można rozeznać jego budowy. Obraz dolny przedstawia ten sam materjał już żarzony, gdy proces żarzenia, bliski już ukończenia, nie dobiegł jednak swego kresu. Struktura jest perlityczna, o bardzo grubych płatkach, dobrze widocznych przy takiem samem powiększeniu jak obraz górny, co jest wynikiem bardzo długiego żarzenia przy wysokiej temperaturze. W perlicie widoczne są czarne bryłki węgla żarzenia i liczne a drobne wysepki (białe) nierozłożonego jeszcze cementytu.

Na rys. 107 znajdują się obrazy tej samej leizny, żarzonej jeszcze dłużej, i to w ośrodku utleniającym; u góry widzimy zaledwie resztki

Rys. 106 (× 100, kw. az.).

Rys. 107 (× 100, kw. az.).

węgla żarzenia (czarnego), ilość perlitu bardzo zmalała, pojawił się natomiast nowy składnik — ferryt, jako wynik odwęglenia. W obrazie dolnym widzimy ostatnie stadjum żarzenia, — w górnej części wysepki perlitu, stopniowo zanikające na rzecz ferrytu, u dołu czysty ferryt z drobnemi otworkami, pozostałemi w miejscu gdzie były bryłki węgla, jednak rozmiarów znacznie mniejszych. Ta dolna część spodniego obrazu przedstawia strukturę t. zw. leizny białej.

Na rys. 108 widzimy inną leiznę w powiększeniu silniejszem, w chwili ukończonego rozkładu cementytu, którego już zupełnie niema; skupienia węgla otoczone są ferrytem, powstałym z rozkładu karbidu przy wydzieleniu węgla żarzenia, oraz perlitu, który także utracił swą zawartość cementytu. Pozostały jeszcze perlit (szary) nie znajduje się (prócz jednego miejsca na dole) w styczności z węglem żarzenia.

Obraz ten przedstawia rodzaj kujnej leizny wyrabianej w Ameryce i nazwanej czarną, z powodu szarej barwy, pochodzącej od zawartości węgla.

Rys. 108 (× 250, kw. az.).

Błędy obserwacji mikroskopowej.

Dla początkujących badaczy, których pewne, niezwykłe czasem zjawiska na obrazie wprowadzają w zakłopotanie, podajemy niektóre wypadki, powodujące błędną obserwację. Wynika ona najczęściej z niedość starannego przygotowania próby lub niedbałego utrzymywania mikroskopu.

Pominiemy tu błędne wyniki obserwacji z powodu nierozpoznania struktury, prawidłowo ukazującej się w mikroskopie, bo kto przystępuje do obserwacji, winien znać postać normalną badanego materjału; — nie znając składników żelaza ani zmian jakie w niem powodują procesy przeróbki, nie można myśleć o ich rozpoznawaniu.

Przyjmujemy także, że mikroskop nie posiada wad, a więc stół dźwigający próbki jest prostopadły do osi optycznej objektywu i nie rusza się, źródło światła (lampa) jest dostatecznie silne i niezmienne, śruba do ostrego nastawiania obrazu precyzyjna i pewnie osadzona.

Często zdarzającym się objawem są ciemne plamy na obrazie (rys. 109) dotkliwe zwłaszcza przy fotografowaniu, a nie znajdujące się na powierzchni przedmiotu. Powoduje je nagromadzenie się pyłu lub przylgnięcie jakiegoś obcego ciałka do okularu, objektywu lub pryzmatu. Na rys. 109 widzimy obraz w środku zaciemniony wskutek tego, że na objektyw mikroskopu, zwrócony jak wiadomo do góry, upadł skrawek listka tytoniowego. Obracając okular lub objektyw w swej osadzie, zauważymy poruszanie się plam na obrazie i łatwo znajdziemy miejsce zanieczyszczenia; gdy plamy nie poruszają się, jest to wskazówka, że zanieczyszczenie znajduje się na jednym z pryzmatów.

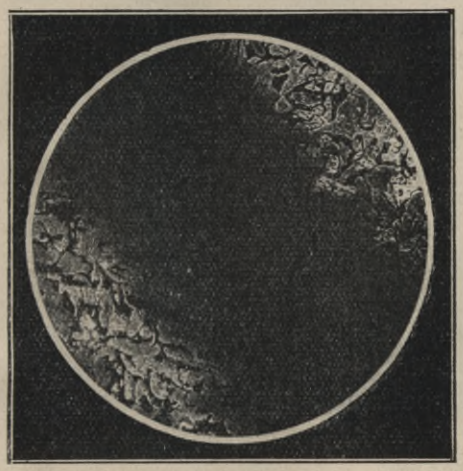
Niedbałe szlifowanie i polerowanie, po którem pozostają rysy na badanej powierzchni (rys. 110) mylące początkującego badacza, zacierają także wyrazistość szczegółów obrazu; nierówne szlifowanie, zmieniające odległość części obserwowanej powierzchni od objektywu, wywoływa niejednakową ostrość obrazu, wtedy nie może być mowy o dobrem zdjęciu fotograficznem.

Za słabo natrawiona próba daje obraz mało wyraźny, za silne (za długie) trawienie zaciemnia go.

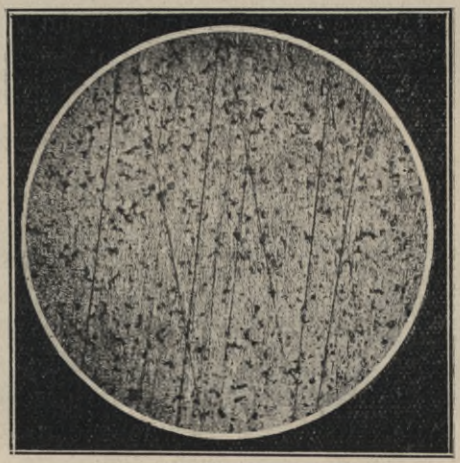
Nieczysty kwas użyty do odczynnika, za dużo wody zawierający alkohol, użyty do rozpuszczenia kwasu lub do osuszenia natrawionej i opłókanej w wodzie próby, niestaranne i zbyt powolne osuszanie jej, a czasem pewne zanieczyszczenia samego materjału, powodują występowanie nalotów (rys. 111), w postaci różnobarwnych plam, które zakrywają obraz a fotografję czynią niewyraźną i zaciemnioną.

Położenie mokrej próby na stole mikroskopu powoduje ukazywanie się na obrazie smug i plam rozmaitych kształtów.

Dotknięcie natrawionej powierzchni palcem wytwarza, wskutek odcisku powierzchni skóry obrazy, mogące łatwo zmylić obserwatora i dopowradzić go do mylnych wniosków. Rys. 112 przedstawia taki

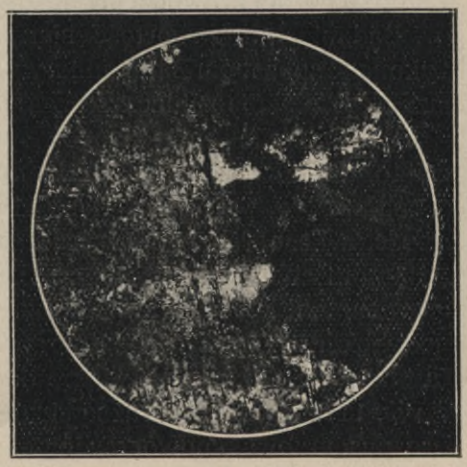


Rys. 109 (× 100, kw. az.).



Rys. 110 (× 100, kw. az.).

Rys. 111 (× 100, kw. az.).



Rys. 112 (× 100, kw. az.),

obraz: z lewej strony widoczne są smugi z odcisku skóry, z prawej plamy wywołane silniejszem dotknięciem.

Niestaranne osuszenie próby płatkiem płótna pozostawia na jej powierzchni drobne włókienka (rys. 113), przedstawiające się na obrazie jak pęknięcia lub złoża żużla.

Kolejne natrawianie w odmiennych odczynnikach, jeżeli nie zostało poprzedzone oszlifowaniem próby (najlepiej od papieru 1 *M*) i wypolerowaniem, spowodować może reakcję chemiczną i wydzielenie się na próbie osadu o niezwykłych kształtach. Taki osad widzimy na rys. 114, gdzie przy trawieniu miękkiego żelaza w kwasie azotowym nie usunięto należycie warstwy natrawionej poprzednio odczynnikiem Heyna.

Poprzestajemy na tych przykładach, pouczających, że przygotowując próbę i obserwując ją następnie, należy być pedantycznym i starannym; niewłaściwie stosowany pośpiech najczęściej przedłuża badanie.

Przykłady badania.

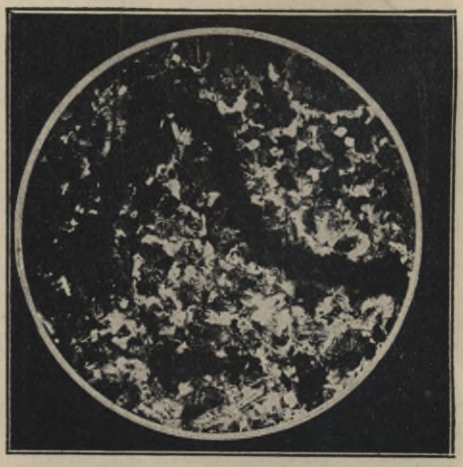
1. Drążek wiertniczy. Do zbadania przedłożono odcinek drążka żelaznego, pękniętego, używanego w wiertnictwie nafty, który doznał złamania po krótkiem użyciu, ponadto drugi odcinek, dostarczony przez hutę jako wzór dostawy.

Celem zbadania wykonano przekrój podłużny i dwa poprzeczne, jeden w miejscu pęknięcia częściowego, drugi w miejscu nienaruszonem.

Makroskopowe badanie przekroju podłużnego (rys. 115) wykazuje, że jest to żelazo zlewne z ośrodkiem zawierającym fosfor w wydzieleniach pasemkowych. Pęknięcie częściowe, o którem była mowa powyżej, jest na obrazie widoczne w środku górnej krawędzi przekroju.

Badanie na zawartość siarki, wykonane sposobem Baumanna, wykazało tylko słabe zanieczyszczenie.

Do badania mikroskopowego wzięto najpierw okaz nietrawiony z podłużnego przekroju. Rys. 116 przedstawia obraz zanieczyszczeń żużlami i tlenkami, — są one znaczne; uzupełnienie tego rodzaju zanieczyszczeń dają dalsze obrazy. Na słabem powiększeniu, jakie daje rys. 117, widzimy wyraźną strukturę pasemkową, spowodowaną zawartością żużli; są one zwłaszcza



Rys. 113 (×100, kw. az).

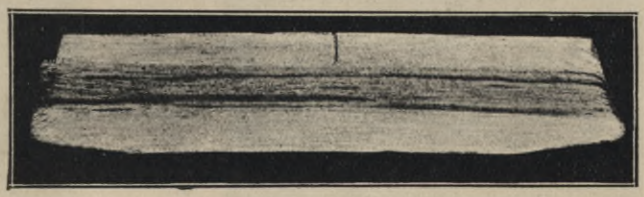
widoczne w środku obrazu, w ilości przypominającej żelazo pudlarskie.

Tak wielka ilość żużla obok licznych tlenków nasuwa wniosek, że nie proces desoksydacji jest tego powodem, ale że do płynnego żelaza dostały się obce ciała żużlowate, np. odpadki z wyprawy pieca albo kadzi odlewniczej.

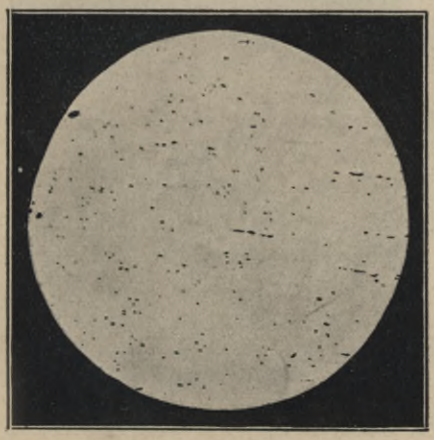
Ze względu na przeznaczenie drążka do wiercenia głębokich szybów naftowych, który podlega niezliczonym uderzeniom, wywołującym objawy przemęczenia materjału, należy przy badaniu zwrócić uwagę na wielkość ziarn i zawartość węgla, czynniki wpływające na kruchość materjału.

Dla poznania wielkości ziarn i zawartości węgla zdjęto dwa obrazy z przekroju poprzecznego

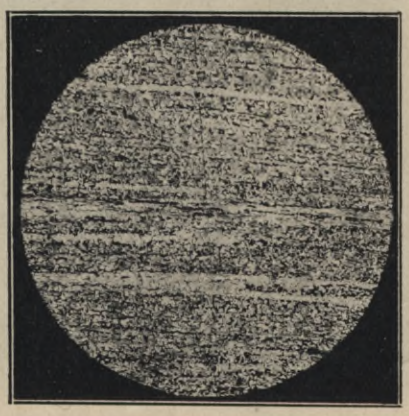
Rys. 114 (× 80, kw. az.).



Rys. 115 (× 1, odcz. Hn.).



Rys. 116 (× 80, nietraw.).



Rys. 117 (× 25, kw. az.).

(rys. 118 u góry) i podłużnego (u dołu). Struktura jest gruboziarnista, rozkład perlitu niejednolity, kształt ziarn nieforemny. Budowa krystaliczna robi wrażenie materjału przegrzanego, czego nawet przeróbka mechaniczna przez walcowanie nie zdołała zatrzeć. W obrazie dolnym widoczne wielkie pasmo rozwalcowanego żużla.

Zawartość węgla ocenić można na 0·15—0·2%.

W miejscu pęknięcia (rys. 119 u góry) znajdują się złoża żużla, miejscami bardzo obfite. Szczegół pęknięcia (z prawej strony obrazu górnego) widzimy na dole w silniejszem powiększeniu. Pasma żużla odcięły w środku drążka całkowicie pewną ilość materjału, który wskutek nacisku wyginającego się drążka doznał zgniotu; wskazuje to wydłużenie ziarn zamkniętych złożami żużla. Widoczne jest z tego, że spoistość materjału była mała z powodu zawartości żużla, a pęknięcie nastąpiło na dłuższy czas przed urwaniem drążka, skoro warstwy objęte niem uległy zgniotowi.

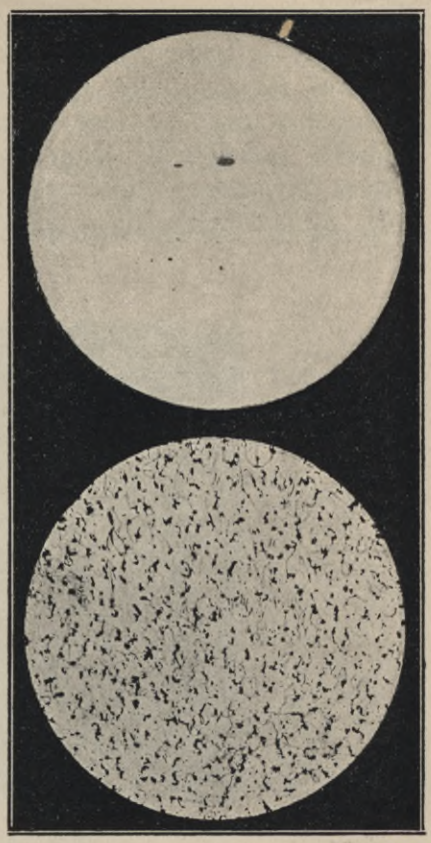
Rys. 118 (× 100, kw. az.).

Rys. 119 (u góry × 25, u dołu × 100, kw. az.).

Ogólny sąd o materjale: znaczna zawartość fosforu, wielka żużla, miejscami niebezpiecznie skupionego, i gruboziarnistość, wskazują na materjał bardzo pośledniego gatunku. Zawartość węgla, zwiększająca wytrzymałość ale także jego kruchość, wydaje się za wysoka, ze względu na wstrząśnienia, jakim ustawicznie podlegać musi drążek podczas pracy.

Z materjału dostarczonego jako wzór dostawy, zbadano wyciętą próbę przed i po natrawieniu; obraz jej widzimy na rys. 120. Górne zdjęcie wskazuje na minimalną ilość zanieczyszczeń żużlem i tlenkami, dolne na nadzwyczajną drobnoziarnistość, jednolity rozkład perlitu i regularny kształt ziarn. Zawartość węgla ocenić można na 0·1%.

Materjał jest wyborowy i nie da się porównać z badanym poprzednio.



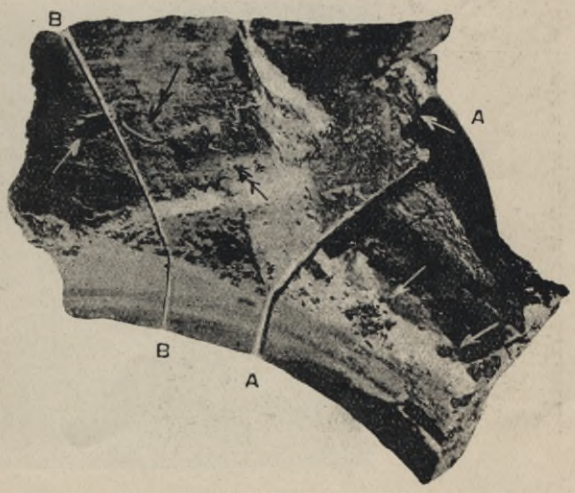
Rys. 100 (× 100, kw. az.).

2. Odlew żeliwny. Przedmiotem badania jest odłamek żeliwnego sprzęgła z wyciągu kopalnianego, przedstawiony na rys. 121.

Powierzchowne obejrzenie odlewu poucza, że jest on miejscami gąbczasty (czarna strzałka pojedyncza), wykazuje pory i dziury (jamy, — strzałki białe), oraz miejsca gdzie strumienie żelaza wpływającego do formy nie złączyły się (strzałki czarne, podwójne).

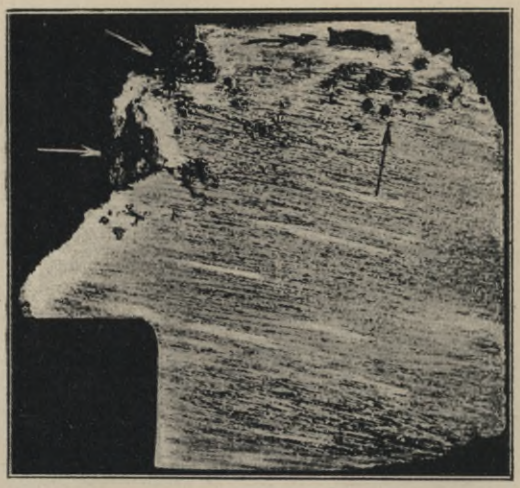
Jak z tego widzimy, materjał odlewu określić można odrazu jako lichy.

Dla zbadania wnętrza odlewu przecięto go w dwóch miejscach widocznych na obrazie (*AA* i *BB*). Na prze-



Rys. 121 (× 0·5, zdjęcie z natury).

kroju *AA* (rys. 122) widoczne są jamy (strzałki białe), pory (strzałka czarna), oraz podłużny, prostokątny otwór (strzałka czarna, podwójna). Przekrój *BB* (rys. 123) pokazuje materjał jeszcze bardziej porowaty (strzałka czarna) i jeszcze większy podłużny otwór w dwóch warstwach (strzałka podwójna), ciągnący się widocznie przez cały okaz, a powstały prawdopodobnie wskutek odłuszczenia się i odpadnięcia warstwy z powierzchni formy, pokrytej smarem grafitowym.



Rys. 122 (× 0·7, nietraw.).

Rys. 123 (× 0·7, nietraw.).

Na obrazie mikroskopowym próby nietrawionej (rys. 124) widać bardzo liczne wydzielenia siarczku w postaci eutektyki (szare plamki charakterystycznego kształtu); w miejscach tych grafit jest wydzielony słabo, w małych i cienkich pasemkach. Otworki czarne oznaczają pory i tlenki. Eutektyka fosforowa jest słabo zarysowana.

Na obrazie natrawionym (rys. 125) występuje bardzo obficie eutektyka fosforowa (jasna) i czarne żyłki grafitu, otoczone perlitem (szarym).

Rys. 124 (× 100, nietraw.).

Rys. 125 (× 100, kw. az.).

Na obrazie innym (rys. 126) jest widoczny w środku otwór, pory (czarne) rozsiane po całej powierzchni, nikły grafit gałązkowy w polu ferrytycznem (jasne pola), w miejscach uboższych w grafit występuje perlit (szary).

Ogólny sąd o materjale: odlew silnie porowaty, pełen jam i nawskroś przenikających go otworów, częste miejsca niezupełnego złączenia i liczne tlenki, nadmierna zawartość siarki i fosforu.

Rys. 126 (× 100, kw. az.).

BIBLIOTEKA KRAKÓW Politechniczna

KSIĄŻNICA-ATLAS T. N. S. W.

LWÓW, UL. CZARNIECKIEGO 12 — WARSZAWA, NOWY ŚWIAT 59

poleca:

A. Plamitzer

AKSONOMETRJA PROSTOKĄTNA

Str. 220. — Zł. 12·—.

Treść: Wstęp. I. Wiadomości przygotowawcze. II. Rzuty aksonometryczne punktu. III. Prosta i płaszczyzna. IV. O prostych i punktach, przynależnych do płaszczyzny. V. Problemy równoległości i prostopadłości. VI. Obroty. Zmiana rzutni. VII. Zadania miarowe. VIII. Wielokąty płaskie. IX. Wielościany. X. Związki miarowe i zależne od nich konstrukcje w aksonometrji prostokątnej.

W. Pogorzelski

ZARYS TEORJI WEKTORÓW

Str. 72. — Zł. 4·80.

Praca ta przedstawia olbrzymią wartość dla specjalistów fizyki i techniki jako nawzajem uzupełniających się gałęzi nauki. Książka jest wynikiem olbrzymiej wiedzy autora i oparta na najściślejszych badaniach. Rozważania swe podzielił autor na dwie części. W pierwszej podaje nam pojęcie wektora i działań wektorowych, w drugiej omawia pole wektorowe i jego własności.

G. Teyssier

FRANCUSKO-POLSKI I POLSKO-FRANCUSKI SŁOWNIK ELEKTROTECHNICZNY

Zł. 2·80.

S. P. Timoszenko

KURS WYTRZYMAŁOŚCI MATERJAŁÓW

Przełożył z IV wydania i uzupełnił M. T. HUBER, inż., prof. politechniki lwowskiej.

Str. 363 z 415 rys. w tekście — Zł. 10·—.

„Tak autor, jak i tłumacz, należą do specjalistów, znanych z prac oryginalnych także w piśmiennictwie zachodnio-europejskiem, co starczy za najlepsze zalecenie książki, odznaczającej się nadto przystępnością wykładu przy wysokim poziomie naukowym i nader obfitej treści".

(N. R. w Przeglądzie Wydawnictw Książnicy Polskiej T. N. S. W., nr. 3 i 4 z roku 1923).

KSIĄŻNICA-ATLAS T. N. S. W.

LWÓW, UL. CZARNIECKIEGO 12 — WARSZAWA, NOWY ŚWIAT 59

poleca:

Dr. K. Weigel

RACHUNEK WYRÓWNAWCZY

WEDŁUG METODY NAJMNIEJSZYCH KWADRATÓW

Str. XII + 336. — Zł. 9 —.

„Przed niedawnym czasem otrzymałem od Panów to wspaniałe dzieło. Zwrócę na to poważne wydawnictwo uwagę naszego Tow. technicznego w Pradze". *(Prof. dr. inż. A. Tichy, Wyż. Szkoła Techniczna w Bernie, w liście z 4. X. 1925).*

Z. Weyberg

KRYSTALOGRAFJA OPISOWA

Str. 390 z 637 rysunkami w tekście. — Zł. 18·—.

Treść: Część pierwsza: *A)* Trzy prawa krystalografji. *B)* Niektóre wiadomości z krystalografji opisowej. *C)* Symetryczność geometryczna a fizyczna i kształty czworościanu jednostkowego. *D)* Krótki zarys najważniejszych własności fizycznych ciała krystalicznego Część druga: *A)* Opis trzydziestudwu rodzajów krystalograficznych. I. Kryształy trójskośne. II. Kryształy jednoskośne. III. Kryształy rombowe. IV. Kryształy tetragonalne. V. Kryształy trygonalne i heksagonalne. VI. Kryształy regularne. *B)* Krótki zarys wiadomości najważniejszych z krystalografji chemicznej. *C)* Zakończenie. Skorowidz.

Dr. M. Wolfke

ZASADY TEORJI CIEPŁA

Str. VIII + 120 i 27 rysunków w tekście. — Zł. 3·60.

„Autor ujął w sposób zwięzły lecz dokładny, podstawy termodynamiki z jej zastosowaniami i ogólne zasady kinetycznej teorji ciepła. W podręczniku tym zostały u nas po raz pierwszy uwzględnione najnowsze wyniki badań współczesnych. W termodynamice posiłkuje się autor wynikami ostatnich badań sławnego laboratorjum kriogenicznego w Lejdzie, które miał sposobność osobiście bliżej poznać.

Również została uwzględniona teorja kwantów w jej zastosowaniu do zjawisk cieplnych.

Całość daje zatem ścisły obraz współczesnych poglądów na tę dziedzinę zjawisk fizycznych.

Dlatego ta książka jest przeznaczona nietylko dla słuchaczy wyższych zakładów naukowych, ale również dla tych wszystkich, którzy pragną już posiadane wiadomości p... *Ekspres Lubelski", z 9. IX. 1924).*

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

100000297755

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
II-6284

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000297755