



# Norges Geologiske Undersökelse

Nr. 117

## KORT OVERSIGT OVER KOBBERETS INDFLYDELSE PAA JERN OG STAAL

AV  
W. GUERTLER

FORKORTET OG BEARBEIDET

AV  
J. BULL

MED 3 TEKSTFIGURER OG ENGLISH SUMMARY

**STATENS RAASTOFKOMITE  
PUBLIKATION Nr. 17**

**KRISTIANIA 1923**

I KOMMISSION HOS H. ASCHEHOUG & CO.

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE Nr. 117

KORT OVERSIGT OVER  
KOBBERETS INDFLYDELSE  
PAA JERN OG STAAL

AV  
W. GUERTLER

FORKORTET OG BEARBEIDET

AV  
J. BULL

MED 3 TEKSTFIGURER OG ENGLISH SUMMARY.

---

STATENS RAASTOFKOMITE  
PUBLIKATION Nr. 17

KRISTIANIA 1923  
I KOMMISSION HOS H. ASCHEHOUG & CO.

NORGES STATSBANER  
HOVEDSTYRET

**K**obberets indflydelse paa staal har i de sidste 30—40 aar været gjenstand for en hel række undersøkelser, og en flerhet av patenter er uttat paa kobberholdig staal.

De tidligere undersøkelser, indtil omkring 1900, er i almindelighet meget motstridende i sine resultater.

Aarsakerne hertil er mange, men bunder dog som regel ut i det til da mangelfulde kjendskap til legeringers natur i sin almindelighet. Vistnok var der enkelte forskere, der var naaet saa langt, at de hadde begyndt at faa oversigt over legeringsfenomenene, som man nu kjender dem, men dette gjaldt ingenlunde alle der beskæftiget sig med legeringsundersøkelser.

Man var saaledes ikke klar over at de enkelte bestanddele i en fuldkommen legering ikke nødvendigvis maatte opløses i hinanden, saaledes at *alle* legeringens krystalkorn var av samme kemiske sammensætning, saakaldte *blandingskrystaller*. Faktisk bestaar de tekniske legeringer som oftest av to eller flere krystalarter med forskjellig sammensætning. Som regel optrær de enkelte elementer ikke helt rene, men som blandingskrystaller eller kemiske forbindelser. Dog kan ogsaa en eller flere av bestanddelene optræde praktisk talt rene.

Først naar de enkelte bestanddele allerede i *flytende* tilstand skiller sig fra hinanden og herunder leirer sig skiktvis, kan man si, at bestanddelene ikke »legerer sig» med hinanden.

Heller ikke hadde man den fulde forstaaelse av den betydning en eller flere *andre* tilsætninger hadde paa legeringsevnen og legeringsmaaten mellem to eller flere elementer.

Saadanne fremmede bestanddele vil selv i saa smaa mængder som forurensninger ofte kunne virke paa de øvrige elementers oppløselighet i hinanden, med andre ord paa disses evne til at danne blandingskrystaller.

Forurensninger m. v. kan ogsaa ofte virke paa den maate, at der dannes nye kemiske forbindelser, som forholder sig helt anderledes i legeringen end de rene elementer.

Naar der saaledes er tale om en legering av kobber og jern vil der f. eks. ved tilstedeværelse av svovl dannes kobbersulfid,  $Cu_2S$ , som ikke opløses nævneværdig i jern og er en meget sprød bestanddel, som isprængt jern (eller staal) meddeler dette skjørhet.

Har man derfor ikke sørget for at holde svovlet borte og ikke er opmerksom paa dette, kan man let tilskrive kobberet en virkning som i og for sig retteligst burde tillægges svovlets tilstedeværelse, ti uten dette vilde man ikke faa den nævnte virkning.

Ogsaa kulindholdet i staal spiller en betydelig rolle og maa tages hensyn til, naar man skal sammenligne kobberets indflydelse paa staalets egenskaper. Vistnok forbinder kul og kobber sig ikke med hinanden, men kobberet har indflydelse paa jernets forhold til kullet, og kullet til jernets forhold likeoverfor kobberet.

Det har derfor mindre interesse fra et teknisk standpunkt idag at gjennomgaa og analysere de første arbeider om kobberets virkning som staatilsætning.

I det følgende skal i store træk kun omtales de resultater som efter metallografiens nuværende standpunkt maa antages at være forholdsvis paalidelige.

Blandt de første mere omfattende og omhyggelig utførte forsøk med kobberholdig staal er de av SEAD og EVANS i 1901 utførte prøver.

Der anvendtes hertil bessemer skinner med følgende analyse i 0/0:

|       |      |        |           |          |         |         |           |
|-------|------|--------|-----------|----------|---------|---------|-----------|
| Serie | I.   | 0,42 C | —0,93 Mn. | —0,07 Si | —0,03 S | —0,07 P | —0,025 Cu |
| »     | II.  | 0,49 » | —0,93 »   | —0,07 »  | —0,05 » | —0,08 » | —0,033 »  |
| »     | III. | 0,32 » | —1,09 »   | —0,03 »  | —0,19 » | —0,05 » | —0,012 »  |
| »     | IV.  | 0,31 » | —0,68 »   | —0,08 »  | —0,05 » | —0,08 » | —0,012 »  |

Som det sees indeholdt staalene et par tiendedels procent kobber som forurensning.

Til disse »normale« staa! tilsattes kobber saaledes at

|         |           |       |        |
|---------|-----------|-------|--------|
| Serie I | indeholdt | —0,48 | 0/0 Cu |
| » II    | »         | —0,89 | » »    |
| » III   | »         | —1,29 | » »    |
| » IV    | »         | —2,00 | » »    |

Ved kontrolanalyse fandtes de øvrige bestanddele praktisk talt uforandret som i de normale staa!, naar undtas serie III, hvor manganindholdet var sænket fra 1,09 til 0,64 og svovlindholdet fra 0,19 til 0,06 0/0. Staalene blev først valset til skinner.

Serie I. Begge prøver lot sig let valse.

» II. —» — —» —

» III. —» — —» —

» IV. De Cu-holdige staa! (2 0/0 Cu) brak under valseningen over i flendsene; hoderne sprang ikke. Dog viste det sig ved nærmere undersøkelse, at materialet havde været overhøtet.

Tabel 1.

|                      | Cu 0/0    | E<br>Tons □" | B<br>Tons □"   | F 0/0<br>paa 2" | K 0/0          |
|----------------------|-----------|--------------|----------------|-----------------|----------------|
| Serie I .....        | 0,60<br>0 | 25,0<br>25,2 | 46,55<br>44,63 | 19,3<br>20,66   | 21,38<br>27,56 |
| Virkning av Cu ..... |           | — 0,2        | + 1,92         | — 1,36          | — 6,18         |
| Serie II .....       | 0,89<br>0 | 27,1<br>24,8 | 49,4<br>48,0   | 23,0<br>21,0    | 37,0<br>32,0   |
| Virkning av Cu ..... |           | + 2,3        | + 1,4          | + 2,0           | + 5,0          |
| Serie III .....      | 1,29<br>0 | 28,0<br>23,4 | 42,2<br>41,6   | 23,0<br>26,0    | 35,0<br>39,5   |
| Virkning av Cu ..... |           | + 4,6        | + 0,6          | — 3,0           | — 4,5          |
| Serie IV .....       | 2,0<br>0  | 35,9<br>22,1 | 49,7<br>39,7   | 21,5<br>27,0    | 35,4<br>41,0   |
| Virkning av Cu ..... |           | + 13,8       | + 10,0         | — 5,5           | — 5,6          |

Nogen utsagede stykker, som varmebehandlede paanyt, lot sig uten vanskelighet valse til traad.

Av de utvalgede skinner blev der uttat prøvestaver, som underkastedes vanlige strækforsøk, der i middel gav de i tabel 1 gjengitte resultater.

I denne og senere tabeller er der for elasticitetsgrense, strækgrense, bruddgrense, procentvise forlængelse og kontraksion

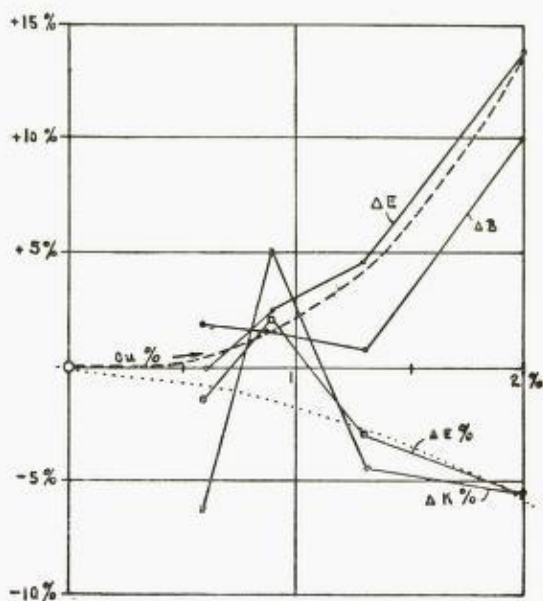


FIG. 1.

av bruddtversnit anvendt betegnelserne E, S, B, F<sup>0</sup>/<sub>0</sub> og K<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Opsættes de i tabellen angitte virkninger av kobbertilsætningen som funktion av kobberindhold, sees at elasticitetsgrænsen praktisk talt stiger proportionalt med kobberindholdet, fig. 1. Bruddgrænsen influeres forholdsvis mindre ved lavere kobberindhold, men naar denne overstiger ca. 1,3<sup>0</sup>/<sub>0</sub> stiger virkningen ganske betragtelig. Virkningen har heller ikke samme karakter som for elasticitetsgrænsen, idet den er større for 0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Cu end for 0,89 og 1,29<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Det er tvilsomt om denne forskjjel mellem kurvene for  $\Delta E$  og  $\Delta B$  er korrekt, og det sandsynligste turde være at begge kurver forløper i likhet med den antydede strekede kurve.

Baade forlængelse og kontraksion gir ved 0,89<sup>0</sup>/<sub>0</sub> cu de gunstigste tal, og virkningen er da positiv, ellers er den stigende negativ med kobbergehalten.

Tabel 2. Torsjonsprøver.

| Varmebehandling              | cu 0/0              | Torsion paa 8" | Bøin. 180° i cm. dor. | Diam. i lommer     | F 0/0          | B Tons       |                |
|------------------------------|---------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------|--------------|----------------|
| Ingen glødning               | Serie I . . . . .   | 0<br>0,48      | 14<br>9               | 4<br>4             | 0,214<br>—     | 12,4<br>12,4 | 48,75<br>50,15 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | — 5                   | 0                  |                | 0            | + 1,4          |
|                              | Serie II . . . . .  | 0<br>0,9       | 4<br>9                | 4<br>4             | 0,206<br>0,208 | 12,0<br>14,0 | 55,91<br>55,65 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | + 5                   | 0                  |                | + 2,0        | — 0,26         |
|                              | Serie III . . . . . | 0<br>1,29      | 14<br>10              | 5<br>4             | 0,216<br>0,212 | 13,6<br>12,8 | 45,84<br>50,51 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | — 4                   | — 1                |                | — 0,8        | + 4,67         |
|                              | Serie IV . . . . .  | 0<br>2,0       | 4<br>4                | 5<br>sprang straks | 0,214<br>—     | 13,6<br>10,0 | 42,78<br>52,24 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | 0                     | — 5                |                | — 3,6        | + 9,46         |
|                              | Serie I . . . . .   | 0<br>0,48      | 17<br>10              | 6<br>5             | 0,217<br>0,215 | 15,2<br>11,2 | 39,47<br>41,23 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | — 7                   | — 1                |                | — 4,0        | + 1,76         |
|                              | Serie II . . . . .  | 0<br>0,9       | 12<br>10              | 4<br>4             | 0,218<br>0,217 | 12,4<br>14,0 | 38,12<br>41,02 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | — 2                   | 0                  |                | + 1,6        | + 2,9          |
| Glødet og avkølet i 24 timer | Serie III . . . . . | 0<br>1,3       | 16<br>14              | 6<br>5             | 0,218<br>0,218 | 15,6<br>15,2 | 35,51<br>34,80 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | — 2                   | — 1                |                | — 0,4        | — 0,71         |
|                              | Serie IV . . . . .  | 0<br>2,0       | 16<br>7               | 5<br>2             | 0,217<br>0,216 | 18,0<br>11,6 | 36,73<br>41,65 |
|                              | Virkning av Cu .    |                | — 9                   | — 3                |                | — 6,2        | + 4,92         |

Heller ikke disse tal kan antas at gjengi det lovmæssige forhold korrekt, og sandsynligheden taler for kurver i likhet med den punkterte linje.

Som endelig resultat av de mekaniske prøver kan det sies at elasticitets- og bruddgrænse med kobbertilsætninger op til 2<sup>0</sup>/<sub>100</sub> gjennemgaaende stiger, medens forlængelse og kontraktion avtar. Det samme kan opnaaes ved at variere kulgehalten eller varmebehandlingen av almindelig staal. Nogen særlig fordel i mekanisk henseende synes kobbertilsætningen ikke at byde paa, mens der heller ikke kan siges at følge skadelige virkninger, naar tilsætningen ikke overstiger ca. 1,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub>.

Ved høiere tilsætning begynder F<sup>0</sup>/<sub>100</sub> og K<sup>0</sup>/<sub>100</sub> at avta i betænkelig grad.

Undersøkelserne gav forøvrig det resultat at kobberet bidrog til at overhettingsfænomener opstod.

De samme materialer blev av STEAD og WIGHAM (1901) valset til plater, trukket til traad og underkastet yderligere prøver. En række prøveresultater er gjengit i tab. 2. Serie I, II, III, IV har samme kemiske analyse som gjengit tidligere.

Tilsvarende prøver blev utført med traad trukket til 0'',185 — 0'',165 — 0'',15 — 0'',135 — 0'',12 — 0'',109 — 0'',097 — 0'',085 — 0'',072 — 0'',065 — 0'',055 — 0'',048 — 0'',04

Disse prøver gav stort set samme resultat som ovenfor angit i tab. 2 og viser, at naar kobberindholdet stiger blir materialet mere sprødt, og at den opnaadde større bruddfasthet faaes paa bekostning av forlængelsen (seigheten).

Ogsaa endel prøver med materialer valset til plater bekræftet de først utførte prøver med skinner.

STEAD fremstillet derefter (1901) legeringer ved direkte tilsætning av kobber og fandt legerbarhet i alle forhold, naar jernet var praktisk talt kulstoffrit.

Legeringer med 0—8<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Cu fandtes homogene, steg kobberindholdet over 8<sup>0</sup>/<sub>100</sub> blev legeringen heterogen, bestod altsaa av 2 krystalarter, indtil kobberindholdet blev over 97,27<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, da homogenitet atter indtraadte. I sidste fald har man altsaa nærmere betegnet kobber med indtil 2,73<sup>0</sup>/<sub>100</sub> jern.



Findes kulstof i legeringen forandres forholdet fuldstændig, idet legerbarheten ophører allerede ved 7,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Cu. Ved høiere kobberindhold danner smelten to adskilte skikt, saa man ingen ensartet blanding faar av de to krystalarter — og endnu mindre blandingskrystaller. Ved tilsætning av aluminium steg derimot legerbarheten. En fuldstændig undersøkelse av aluminiumets virkning blev ikke utført. Spørsmålet om der med Fe—Cu—C overhodet opnaaes *homogene* legeringer blev ikke avgjort. Forøvrig bekræftedes STEADS tidligere forsøk.

Videre konstatertes at kobber i støpejern ikke øvet indflydelse paa utskillelsen av grafit, men kun øket haardheten, hemmet dannelsen av perlit, og det synes i og for sig inden rimelige grænser ikke at skade jernet.

WIGHAM (1901) kom til lignende resultater men med den forskjjel, at grænsen for legerbarhet naaedes allerede ved 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Cu. Han sætter videre grænsen for en god legering til 0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Cu, naar der findes 0,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> C, og for traadmateriale gaar han helt ned til 0,25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Cu.

PFEIFFER (1906) optar til behandling spørsmålet, om der med Fe—Cu—C dannes *homogene* legeringer og kommer til det resultat at saa *ikke* er tilfældet. Han gaar endog saa vidt som at hævde, at kobber overhodet ikke i noget forhold opløses i jern eller jernkulstof, men at det kun fordeler sig fint i smelten og i legeringen som en emulsion.

Han antar derfor at kobber i »smaa mængder« ikke gjør nævneværdig skade, naar der ved god omrøring sørges for jevn blanding. Dog vil kobberets lave smeltepunkt efter hans opfatning kunne fremkalde rødskjørhet.

I motsætning til PFEIFFERS forsøk fandt BRENIL (1906) endog betydelig høiere grænser for legerbarhet og blandingskrystaldannelse end STEAD og WIGHAM. Hans undersøkelser er imidlertid ikke fuldstændige nok til at entydige slutninger kan trækkes. De mekaniske prøver gav gjennemgaaende noget gunstigere tal end STEAD og WIGHAM, men forøvrig med samme tendens, nemlig økning av E og B. paa bekostning av F. Slagforsøkene viste mindre slagfasthet, naar kobberindholdet oversteg 0,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. BRENIL synes at være den første der nævner, at kobber i smaa tilsætninger øker korrosionsfastheten av staal.

Han fandt saaledes de i tabel 3 opførte tal.

Tabel 3.

Metaltap i 0/0 i svovlsyre 66° B og like de'le vand i 1 mnd.

| Cu 0/0 | Ca. 0,2 C. | Ca. 0,4 C. |
|--------|------------|------------|
| 0      | 5,23       | 6,1        |
| 0,5    | 4,40       | 3,54       |
| 1,0    | 2,80       | 3,21       |
| 2,0    | 3,01       | 2,04       |
| 4,0    | 3,34       | 2,50       |

BRENIL behandler atter spørsmålet i 1907 og anfører da den merkelige opplysning, at valsbarheten med tilsætning av kobber stiger med kulgehalten.

Med op til 0,4 C er blokkene valsbare, hvis kobberindholdet er mindre end 4 0/0, ved høiere indhold indtræder rødskjørhet.

Hvis derimot kulindholdet er 0,5 a 0,8 0/0 er stykkene valsbare med op til 10 0/0 Cu.

Hans mikroskopiske undersøkelser bekræfter STEADS iagttagelser, at strukturen blir finere med kobber, at perlitdannelsen økes og at den hærdende virkning tiltar med høiere kulgehalt.

Videre fandt han ikke frit kobber, naar der var under 4 0/0 Cu, mellom 4 og 8 0/0 indtrær mætning og med over 8 0/0 optrær kobberet frit.

Er kulgehalten høi, optrær saigring som er meget tydelig ved 25 0/0 Cu.

Martensitisk struktur kunde ikke paavises i noget tilfælde.

SAHMEN gir (1908) det første fuldstændige tilstandsdiagram for Fe—Cu. se fig. 2.

Dette diagram viser yderligere begrenset omraade for dannelsen av blandingskrystaller end av STEAD angit.

C. BURGESS og J. ASTON beretter (1910) om de magnetiske og elektriske egenskaper ved kobberholdig jern. Hovedresultatet er, at en kobbertilsetning ikke bidrar til at bedre jernets permeabilitet. Dog virker nogen faa procent Cu ikke nævneværdig skadelig.

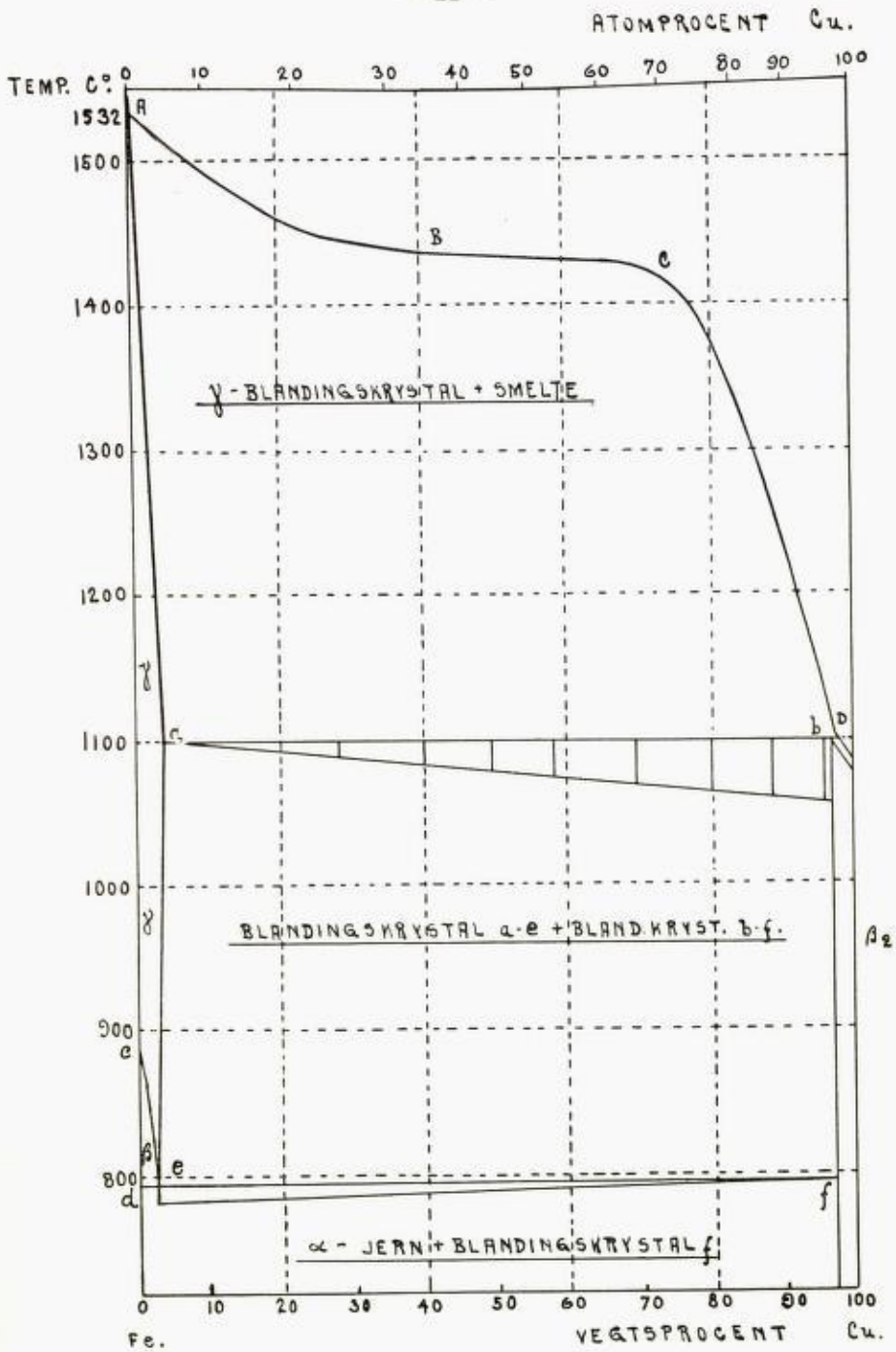


FIG. 2.

Motstanden stiger med 0,422 0/0 Cu fra 12,2 til 13,6 mikrohm/ccm og naar sit maksimum, 17,0 mikrohm ved 1,51 0/0 Cu, hvorefter den atter falder.

Med saavidt mulig kulfrit Fe—Cu legeringer foretoges mekanisk-teknologiske prøver. Disse prøver har mere videnskabelig end teknisk interesse og forbigaaes derfor.

Dog kan nævnes, at man ved 1,5 0/0 Cu fik et staal, som sterkt nærmer sig nikkelstaalene, men det maa som nævnt erindres, at der anvendes særlig rent kulfrit jern.

Ogsaa disse forfattere paaviste større korrosionsfasthet ved Cu-tilsætning.

Dette spørgsmaal behandles saa (1913) meget grundig av BUCK, som anvender baade Bessemer og S. M. staal, der er tilsat 0,15—0,25 0/0 Cu.

De utvalgte plater blev i flere tykkelser uthængt under tre forskellige atmosfæriske forhold. Som forsøks-atmosfære valgtes:

Et forkoksningsomraade i Pa. med SO<sub>2</sub>-, SO<sub>3</sub>- o.s.v. -holdig luft.

Et kystklima med NaCl og

Et indlandsklima.

Resultaterne er angit i tabel 4.

Tabel 4. Korrosionsprøver.

| Hvor Tid                   | Staal              | Plate nr. | C 0/0 | Mn 0/0 | S 0/0 | P 0/0 | Cu 0/0 | Rel. rusttap |
|----------------------------|--------------------|-----------|-------|--------|-------|-------|--------|--------------|
| Forkoksningsomraade 9 mdr. | Bessemer           | 27        | 0,05  | 0,44   | 0,082 | 0,101 | 0,23   | 33,09        |
|                            | "                  | 27        | 0,05  | 0,44   | 0,075 | 0,099 | 0,34   | 39,61        |
|                            | "                  | 16        | 0,07  | 0,46   | 0,069 | 0,095 | 0,33   | 41,57        |
|                            | Siemens-           | 27        | 0,10  | 0,46   | 0,035 | 0,043 | 0,17   | 42,09        |
|                            | Martin             | 27        | 0,07  | 0,47   | 0,038 | 0,043 | 0,25   | 42,22        |
|                            | "                  | 27        | 0,06  | 0,33   | 0,035 | 0,018 | 0,25   | 43,27        |
|                            | "                  | 27        | 0,06  | 0,35   | 0,036 | 0,018 | 0,16   | 43,92        |
|                            | Bessemer           | 16        | 0,08  | 0,45   | 0,070 | 0,094 | 0,21   | 44,05        |
|                            | Siemens-           | 16        | 0,14  | 0,46   | 0,038 | 0,043 | 0,27   | 46,67        |
|                            | Martin             | 16        | 0,13  | 0,44   | 0,035 | 0,042 | 0,18   | 46,67        |
|                            | "                  | 16        | 0,10  | 0,35   | 0,033 | 0,019 | 0,23   | 47,32        |
|                            | "                  | 16        | 0,10  | 0,34   | 0,035 | 0,020 | 0,16   | 48,36        |
|                            | Staal med litet Cu | 27        | 0,02  | 0,03   | 0,036 | 0,003 | 0,07   | 50,19        |
|                            | "                  | 16        | 0,03  | 0,03   | 0,034 | 0,003 | 0,06   | 53,20        |
|                            | Siemens-           | 16        | 0,13  | 0,45   | 0,035 | 0,042 | 0,00   | 74,64        |
|                            | Martin             | 27        | 0,09  | 0,47   | 0,037 | 0,043 | 0,00   | 78,16        |
|                            | Bessemer           | 16        | 0,08  | 0,46   | 0,070 | 0,098 | 0,00   | 91,64        |
|                            | "                  | 27        | 0,05  | 0,45   | 0,076 | 0,100 | 0,00   | 96,86        |
| Siemens                    | 16                 | 0,10      | 0,34  | 0,034  | 0,019 | 0,00  | 98,82  |              |
| Martin                     | 27                 | 0,06      | 0,35  | 0,033  | 0,018 | 0,00  | 100,00 |              |

Tabel 4. Korrosionsprøver. (Fortsat.)

| Hvor Tid             | Staal                       | Plate nr. | C<br>% | Mn<br>% | S<br>% | P<br>% | Cu<br>% | Rel. rusttap |       |
|----------------------|-----------------------------|-----------|--------|---------|--------|--------|---------|--------------|-------|
| Sjøkysten<br>10 mdr. | Bessemer                    | 27        | 0,05   | 0,44    | 0,075  | 0,091  | 0,34    | 51,12        |       |
|                      | "                           | 27        | 0,05   | 0,44    | 0,082  | 0,101  | 0,23    | 51,12        |       |
|                      | Siemens-                    | 27        | 0,07   | 0,47    | 0,038  | 0,043  | 0,25    | 51,96        |       |
|                      | Martin                      | 27        | 0,10   | 0,46    | 0,035  | 0,043  | 0,17    | 55,03        |       |
|                      | "                           | 27        | 0,06   | 0,33    | 0,035  | 0,018  | 0,25    | 55,59        |       |
|                      | Bessemer                    | 16        | 0,08   | 0,45    | 0,070  | 0,094  | 0,21    | 56,42        |       |
|                      | "                           | 16        | 0,07   | 0,46    | 0,069  | 0,095  | 0,33    | 56,70        |       |
|                      | Siemens-                    | 16        | 0,10   | 0,35    | 0,033  | 0,019  | 0,23    | 57,54        |       |
|                      | Martin                      | 16        | 0,13   | 0,44    | 0,035  | 0,042  | 0,18    | 58,94        |       |
|                      | "                           | 27        | 0,06   | 0,35    | 0,036  | 0,018  | 0,16    | 58,94        |       |
|                      | "                           | 16        | 0,14   | 0,46    | 0,038  | 0,043  | 0,27    | 60,90        |       |
|                      | "                           | 16        | 0,10   | 0,34    | 0,035  | 0,020  | 0,16    | 64,81        |       |
|                      | Staal med                   | 27        | 0,02   | 0,03    | 0,036  | 0,003  | 0,07    | 64,81        |       |
|                      | litet Cu                    | 16        | 0,03   | 0,03    | 0,034  | 0,003  | 0,06    | 65,37        |       |
|                      | Siemens                     | 27        | 0,09   | 0,47    | 0,037  | 0,043  | 0,00    | 65,60        |       |
|                      | Martin                      | 16        | 0,13   | 0,45    | 0,035  | 0,042  | 0,00    | 70,39        |       |
|                      | "                           | 27        | 0,06   | 0,35    | 0,033  | 0,018  | 0,00    | 87,99        |       |
|                      | "                           | 16        | 0,10   | 0,34    | 0,034  | 0,019  | 0,00    | 88,83        |       |
|                      | Bessemer                    | 27        | 0,05   | 0,45    | 0,076  | 0,100  | 0,00    | 98,32        |       |
|                      | "                           | 16        | 0,08   | 0,46    | 0,070  | 0,098  | 0,00    | 100,00       |       |
|                      | Indlands-<br>egn<br>11 mdr. | Siemens-  | 27     | 0,06    | 0,35   | 0,036  | 0,018   | 0,16         | 51,89 |
|                      |                             | Martin    | 27     | 0,05    | 0,44   | 0,075  | 0,099   | 0,34         | 52,69 |
|                      |                             | Bessemer  | 16     | 0,10    | 0,34   | 0,035  | 0,020   | 0,16         | 52,69 |
|                      |                             | Siemens-  | 27     | 0,05    | 0,44   | 0,082  | 0,101   | 0,23         | 53,88 |
|                      |                             | Martin    | 16     | 0,07    | 0,46   | 0,069  | 0,095   | 0,35         | 54,67 |
|                      |                             | "         | 27     | 0,06    | 0,33   | 0,035  | 0,018   | 0,25         | 55,07 |
|                      |                             | "         | 27     | 0,10    | 0,46   | 0,035  | 0,043   | 0,17         | 55,27 |
| "                    |                             | 16        | 0,13   | 0,44    | 0,035  | 0,042  | 0,18    | 55,27        |       |
| "                    |                             | 27        | 0,07   | 0,47    | 0,038  | 0,043  | 0,25    | 55,67        |       |
| "                    |                             | 16        | 0,10   | 0,35    | 0,033  | 0,019  | 0,23    | 55,87        |       |
| Bessemer             |                             | 16        | 0,08   | 0,45    | 0,070  | 0,094  | 0,21    | 57,26        |       |
| Staal med            |                             | 16        | 0,03   | 0,03    | 0,034  | 0,003  | 0,06    | 57,46        |       |
| litet Cu             |                             | 16        | 0,14   | 0,46    | 0,038  | 0,043  | 0,27    | 58,25        |       |
| Siemens-             |                             | 27        | 0,02   | 0,03    | 0,036  | 0,002  | 0,07    | 64,42        |       |
| Martin               |                             | 16        | 0,13   | 0,45    | 0,035  | 0,042  | 0,00    | 68,79        |       |
| "                    |                             | 27        | 0,09   | 0,47    | 0,037  | 0,043  | 0,00    | 71,77        |       |
| "                    |                             | 16        | 0,10   | 0,34    | 0,034  | 0,019  | 0,00    | 76,54        |       |
| Bessemer             |                             | 16        | 0,08   | 0,46    | 0,070  | 0,098  | 0,00    | 90,26        |       |
| Siemens-             |                             | 27        | 0,06   | 0,35    | 0,033  | 0,018  | 0,00    | 90,66        |       |
| Martin               |                             | 27        | 0,07   | 0,45    | 0,076  | 0,100  | 0,00    | 100,00       |       |

Av tabellen fremgaar med stor tydelighet og lovmæssighet, at en forholdsvis liten kobbertilsætning (0,15 til 0,35 %) i væsentlig grad forringer rustbarheten. Ser man bort fra en Cu-tilsætning under 0,1 %, faaes følgende middelværdier:

Tabel 5.

| Hvor                | Middelværdier av rel. rusttap |        |
|---------------------|-------------------------------|--------|
|                     | Uten cu                       | Med cu |
| Forkokningsomraade. | 90,0                          | 43,0   |
| Sjøkysten .....     | 85,2                          | 56,5   |
| Indlandsegn .....   | 83,0                          | 54,8   |

Det sees at særlig i forkokningsomraadet er korrosionsfastheten betraktelig øket ved Cu-staalene, som her vil kunne vare ca. dobbelt saa længe inden en vis forrustning er indtraadt.

I de to andre egne vil det Cu-holdige staa kunne staa i ca. 50 % længere tid.

Endnu gunstigere stiller det sig ved prøvning i 25 % svovlsyre, se tabel 6.

BUCK gjentok 2 aar senere sine korrosionsforsøk, hvorved de først erholdte resultater blev bekræftet. I mellemtiden var prøveplaterne blit hængende ute i 1 a 2 aar.

BUCK omtaler de enkelte bestanddeles indflydelse og kommer til det resultat, at kulstof, mangan, fosfor og silicium ingen indflydelse øver paa korrosionen. Derimot virker svovl merkbart i retning av rustdannelse, en indflydelse, som kraftig motvirkes ved tilstedeværelse av smaa mængder kobber, 0,15 til 0,25 %. Allerede 0,05 % kobber gjør sig gunstig gjældende.

I den diskussion som paafulgte fik BUCK tilslutning fra de allerfleste hold.

Rustspørsmålet er, som BUCK med rette fremhæver, av den største praktiske betydning. Han beregner værdien av det herved foraarsagede tap til 60—90 mill. dollars aarlig. Hvis saaledes rusttapet kan reduceres til det halve vil dette altsaa bety et mindre aarlig tap paa 30—45 mill. dollars.

Samtidig med BUCKS første undersøkelse fremkom CLEVENGER og RAY (1913) med et omfattende arbeide om Cu-Fe.

Tabel 6.  
Korrosionsprøver i 25 0/0 svovlsyre ved 35° C.

| Staal              | Plate nr. | C<br>0/0 | Mn<br>0/0 | S<br>0/0 | P<br>0/0 | Cu<br>0/0 | Rel. rusttap efter |          |
|--------------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------------|----------|
|                    |           |          |           |          |          |           | 18 timer           | 36 timer |
| Siemens-Martin     | 16        | 0,10     | 0,34      | 0,034    | 0,019    | Spor      | 16,83              | 42,26    |
| "                  | 16        | 0,10     | 0,34      | 0,035    | 0,020    | 0,160     | 1,50               | 2,06     |
| "                  | 16        | 0,10     | 0,35      | 0,033    | 0,019    | 0,230     | 0,87               | 1,38     |
| "                  | 16        | 0,13     | 0,45      | 0,035    | 0,042    | Spor      | 31,29              | 78,15    |
| "                  | 16        | 0,13     | 0,44      | 0,035    | 0,042    | 0,177     | 1,25               | 2,16     |
| "                  | 16        | 0,14     | 0,46      | 0,038    | 0,043    | 0,265     | 1,22               | 1,68     |
| Bessemer           | 16        | 0,08     | 0,46      | 0,070    | 0,098    | Spor      | 99,00              | 100,00   |
| "                  | 16        | 0,08     | 0,45      | 0,070    | 0,094    | 0,207     | 2,09               | 4,40     |
| "                  | 16        | 0,07     | 0,46      | 0,069    | 0,095    | 0,325     | 1,22               | 1,88     |
| Staal med litet Cu | 16        | 0,03     | 0,03      | 0,034    | 0,03     | 0,061     | 1,35               | 2,64     |
| Siemens-Martin     | 27        | 0,06     | 0,35      | 0,033    | 0,018    | Spor      | 41,92              | 100,00   |
| "                  | 27        | 0,06     | 0,35      | 0,036    | 0,018    | 0,160     | 1,28               | 2,04     |
| "                  | 27        | 0,06     | 0,33      | 0,035    | 0,018    | 0,250     | 0,90               | 1,54     |
| "                  | 27        | 0,09     | 0,47      | 0,037    | 0,043    | Spor      | 88,23              | 100,00   |
| "                  | 27        | 0,10     | 0,46      | 0,035    | 0,043    | 0,170     | 2,02               | 4,33     |
| "                  | 27        | 0,07     | 0,47      | 0,038    | 0,043    | 0,250     | 1,29               | 2,06     |
| Bessemer           | 27        | 0,05     | 0,45      | 0,076    | 0,100    | Spor      | 100,00             |          |
| "                  | 27        | 0,05     | 0,44      | 0,082    | 0,101    | 0,226     | 1,19               | 2,40     |
| "                  | 27        | 0,05     | 0,44      | 0,075    | 0,099    | 0,340     | 0,95               | 1,69     |
| Staal med litet Cu | 27        | 0,02     | 0,03      | 0,036    | 0,003    | 0,069     | 4,75               | 9,08     |

Av resultatene skal kun gjengis de utførte strækforsøk, se tab. 7.

RUER og FICK finder (1913) et andet tilstandsdiagram end SAHMEN gjengit i deres arbeide over systemet fe-cu (fig. 3). Ogsaa her angis likvidus mellem 40 og 70 0/0 kun næsten horisontal, og jern og kobber skulde derfor synes at kunne blande sig i alle forhold. Kobberets smeltepunkt forhøies ved jern, saaledes at 3 0/0 Fe i maksimum bevirker en forhøielse paa ca. 10°.

En tilsætning av indtil 9 atomprocent jern er uten merkbar indflydelse, ved yderligere tilsætning gaar dog mindst 3 atomprocent i fast opløsning (konstatert av HAYCOCK og NEVILLE).

Fuldstændig opløselighet forekommer kun ved kulstoffattig jern (0,035 0/0 C).

Ved høiere kulstofindhold foregaar ikke blanding mellem 2,73 0/0 og 92 0/0 jern (fundet av STEAD). Derfor skiller regulus

Tabel 7. Strekforsøk.

| Staal  | Behandling                 | E<br>kg/mm <sup>2</sup> | B<br>kg/mm <sup>2</sup> | F<br>% paa 127 mm | K<br>% |
|--------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|--------|
| A 0    | Smidd<br>og ikke<br>glødet | 36,12                   | 60,69                   | 20,0              | 33,2   |
| A 0,25 |                            | 37,31                   | 69,65                   | 10,0              | 8,1    |
| A 0,5  |                            | 42,21                   | 69,30                   | 17,5              | 21,7   |
| A 1    |                            | 42,21                   | 68,18                   | 20,0              | 29,3   |
| A 2    |                            | 58,80                   | 84,46                   | 10,0              | 4,0    |
| A 3    |                            | 66,22                   | 87,01                   | 10,0              | 12,3   |
| A 4    |                            | 74,55                   | 77,91                   | 2,5               | 0,8    |
| A 5    |                            | 80,08                   | 93,80                   | 2,5               | 3,5    |
| A 0    | Glødet<br>ved<br>820°      | 27,30                   | 52,64                   | 25,0              | 54,2   |
| A 0,25 |                            | 33,81                   | 65,45                   | 16,3              | 48,3   |
| A 0,5  |                            | 34,30                   | 65,80                   | 20,0              | 31,4   |
| A 1    |                            | 38,50                   | 61,00                   | 15,0              | 37,6   |
| A 2    |                            | 43,19                   | 67,62                   | 13,7              | 37,9   |
| A 3    |                            | 46,20                   | 56,00                   | 16,4              | 38,4   |
| A 4    |                            | 47,60                   | 69,99                   | 16,3              | 37,0   |
| A 5    |                            | 51,94                   | 77,00                   | 17,5              | 43,8   |

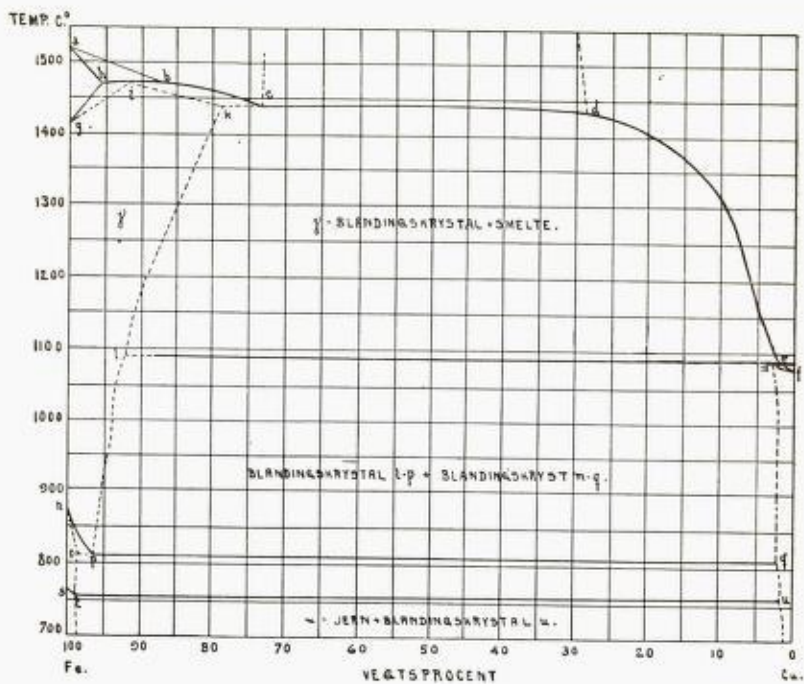


FIG. 3.



sig ved høiere kulstofindhold i 2 skikt, hvis sammensætning med synkende kulindhold efterhvert falder sammen. Dog behøver dette ikke bare være en følge av oppløselighetens sänkning ved kulstof, men den kan ogsaa bero paa en stedfindende mindre skarp adskillelse av skiktene ved lavere kulstofindhold.

Der blev ogsaa iagttaget visse, forövrig forholdsvis ubetydelige, forändringer i omvandlingstemperaturerne som følge av kobberets tilsätning.

Ogsaa omfattende lednings- og magnetiseringsundersökelse foretoges, men forbigaaes, da de har mindre interesse.

HOWARD og JOHNSTOWN har paa nyt (1918) kontrollert kobberets indflydelse paa staalets mekaniske egenskaper og bekräfter herved i grove träk, hvad der tidligere er fundet av BALL, STEAD, BRENIL og CAMPBELL.

RUER og GOERENS undersöker (1917) atter tilstandsdiagrammet for Fe-Cu og bekräfter herunder meget nær det av RUER og FICK opstillede diagram, fig. 3.

---

### Resumé.

Det maa ansees bevist at kobber kun legerer sig med kulholdig jern i smaa mængder og at legerbarheten avtar med stigende kulindhold.

Virkingen av kobberet i staal falder stort set i tre trin:

1. Et kobberindhold av nogen tiendedels procent virker meget gunstig paa korrosionsfastheten og forbedrer ogsaa de mekaniske egenskaper.
2. Ökes kobberindholdet videre til 2 ä 3 0/0 vil de mekaniske egenskaper bedres paa lignende maate som ved tilsätning av nikkel.

Derimot avtar korrosionsfastheten mere og mere.

3. Ökes kobberindholdet yderligere vil baade de mekaniske og kemiske egenskaper förvärres.

Nöiagtige data over den ökonomiske side av saken, særlig med henblik paa fremstillingen i stor maalestok, har ikke kunnet findes, men burde gjøres til gjenstand for nærmere undersökelse.

---

## Summary.

The research work by various authors on the influence of copper in iron and steel is given in a condensed form.

On pages 1—2 is explained why earlier researches often disagree owing to want of exact knowledge of the true nature of alloys and their behaviour.

The succeeding pages are devoted to results of tests made by STEAD and EVANS (1901), STEAD (1901), WIGHAM (1901), PFEIFFER (1906), BRENIL (1906), SAHMEN (1908), C. BURGESS and J. ASTON (1910), BUCK (1913) and (1915), CLEVINGER and RAY (1913), RUER and FICK (1913), RUER and GOERENS (1917) and HOWARD and JOHNSTOWN (1918).

The first rather extensive mechanical tests were made by STEAD and EVANS, table 1 and 2, and fig. 1.

These tests were in the main confirmed later on.

Very interesting corrosion tests have been carried out by BUCH, and the results are given in table 4.

Constitution diagrams from SAHMEN, and RUER and FICK are shown in figures 2 and 3.

## Conclusion.

It appears to be proved that copper only forms a regular alloy with steel when the percentage of copper is low.

The influence of the copper may be divided into three principal classes.

1. A copper content of a few tenths of one percent acts very beneficially on the resistance against corrosion, and improves the mechanical qualities.

2. If the copper content is raised to 2 or 3<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, the mechanical qualities are improved much in the same way as by nickel.

The resistance against corrosion decreases gradually.

3. If the copper content is raised still higher, both the mechanical and the chemical qualities are deteriorated.

Exact data as to the economical side of the problem are not given, but the latter should be investigated, especially with regard to the cost of production on a large scale.

